

Ein betriebsökonomisches Prognosesystem und seine Auswirkungen auf den Entscheidungsprozeß im Industriebetrieb

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Diplom-Kaufmann Gernot Marsch
aus Berlin

Berlin 1971

Ein betriebsökonomisches Prognosesystem und seine Auswirkungen auf den Entscheidungsprozeß im Industriebetrieb

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Diplom-Kaufmann Gernot Marsch
aus Berlin

Berlin 1971



Vorsitzender des Fachbereiches Wirtschaftswissenschaften: Professor Dr. G. Krause-Junk

Referent: Professor Dr. H. Münzner

Korreferent: Professor Dr. M. Meyer

Tag der mündlichen Prüfung: 11. 3. 1971

GLIEDERUNG

- 1 Betriebsökonomie und ihre Zielsetzungen
 - 11 Besonderheiten der Betriebsökonomie gegenüber der volkswirtschaftlichen Anwendung ökonomischer Verfahren
 - 12 Grundbegriffe und Zielsetzungen
- 2 Die betriebsökonomische Struktur als gemeinsame Grundlage der Prognose und der Optimalplanung
 - 21 Das Fertigungsprogramm als Haupteinflußgröße in einem betriebsökonomischen System
 - 22 Die Deckungsbeitragsrechnung als konsequente Folge eines betriebsökonomischen Planungssystems
 - 23 Die Berücksichtigung der Streuung in der Planung
- 3 Die Behandlung von Risikosituationen in der modernen Entscheidungstheorie und in der praktischen Anwendung
 - 31 Der Gesamtgewinn des Betriebes als risikorelevante Größe bei Entscheidungen unter Unsicherheit
 - 32 Das Bernoulli-Prinzip und seine Berücksichtigung der Einstellung zum Risiko in der Nutzenfunktion
 - 33 Die inverse Bernoulli-Bedingung zur Prüfung von Nutzen- und Präferenzfunktionen auf Rationalität
 - 34 Die praktische Ermittlung einer für normalverteilte Risiken Bernoulli-rationalen Nutzenfunktion in einer Ausgleichsrechnung
 - 35 Die Ableitung der Nutzenfunktion entsprechenden rationalen Präferenzfunktion

4 Zur Methodik betriebsökonometrischer Prognose

- 41 Der Vergleich verschiedener Schätzverfahren am Beispiel der Prognose der Hilfslöhne
- 42 Die Schätzproblematik in ökonometrischen Gleichungssystemen
- 43 Die Schätzung der reduzierten Form als zweckmäßigste Methode für betriebsökonometrische Prognosen

5 Ein Beispiel eines betriebsökonometrischen Prognose-systems in einem elektrotechnischen Werk für Instal-lationsgeräte; seine Verwendung als Entscheidungshilfe auf der Grundlage des μ - σ -Prinzips

- 51 Beschreibung des originären Modells und seine Überführung in die reduzierte Form
- 52 Die komponentenweise Schätzung der Parameter in der reduzierten Gewinnleichung
- 53 Die Simulation des Betriebsgewinnes und seiner Varianz für die Entscheidungsalternativen und ihre Berücksichtigung im μ - σ -Prinzip
- 54 Die Erweiterung des Modells zu einem alle entscheidungsrelevanten Größen umfassenden System der Deckungsbeitragsrechnung

6 Die Auswirkungen der betriebsökonometrischen Prognose auf die Optimierung des Produktions-programmes

- 61 Kurzfristige lineare Programoptimierung im Rahmen begrenzter Fertigungskapazitäten
- 62 Die Einbeziehung der variablen Kosten in den Deckungsbeitrag
- 63 Die Berücksichtigung der Marktabhängigkeiten in der nichtlinearen Programmplanung
- 64 Die Entscheidung über die Einführung neuer Produkte als wesentlicher Teil der Pro-grammoptimierung
- 65 Simultane Programm- und Investitionsplanung

- - - - -

1 Betriebsökonomie und ihre Zielsetzungen

Wie in anderen Wissenschaftszweigen, etwa der Biometrie und der Soziometrie, wird auch in den Wirtschaftswissenschaften zunehmend versucht, alles Meßbare zu messen, alle Abhängigkeiten zu quantifizieren. Bisher hat aber die Ökonometrie nur im Bereich der Nationalökonomie - für die Prognose volkswirtschaftlicher Größen - Bedeutung erlangt.

Daran hat sich auch seit der erstmaligen Erwähnung der Betriebsökonomie und ihrer besonderen Problematik¹⁾ nichts geändert.

Ziel der Betriebsökonomie ist es, ein System von betrieblichen, marktlichen und öffentlichen Abhängigkeiten in einem - üblicherweise linearen - Betriebsmodell abzubilden.

Nach der Art dieses Betriebsmodells und der Zwecke, denen es dienen soll, bestimmt sich das methodische Vorgehen. Von den häufig genannten Doppelaufgaben der Ökonometrie - der Prüfung von Hypothesen über Gesetzmäßigkeiten zwischen den Variablen einerseits, der Prognose der endogenen Größen andererseits - spielt das Hypothesenprüfen in der Betriebspraxis nur eine sehr untergeordnete Rolle. Für den dominierenden Zweck der betrieblichen Prognose und der Entscheidungsvorbereitung in einem industriellen Großbetrieb mit einem entsprechend komplexen Betriebsmodell werden in Abschnitt 12 die Zielsetzungen und die zugehörigen statistischen Bausteine beschrieben.

¹⁾ A. Adam: "Probleme und Methoden einer Betriebsökonomie", in: Statistische Vierteljahresschrift 1956, S. 101 ff. und
A. Adam: "Die Statistik in der wissenschaftlichen Betriebsführung" in: Allgemeines Statistisches Archiv 1956, S. 201-209.
G. Menges: "Elemente einer Betriebsökonomie", in: "Operations Research-Verfahren" (herausg. von R. Henn), Band V, S. 248-261, Meisenheim am Glan 1968.

11 Besonderheiten der Betriebsökonometrie gegenüber der volkswirtschaftlichen Anwendung ökonometrischer Verfahren

Daß die betriebliche Anwendung der Ökonometrie im Verhältnis zur volkswirtschaftlichen so unterentwickelt ist, hat seinen Grund wohl im wesentlichen in dem vielfach größeren Umfang betriebsökonometrischer Systeme gegenüber volkswirtschaftlichen Modellen. Die methodischen Schwierigkeiten der statistischen Schätzung der Funktionsparameter verstärken sich derartig, daß - auch beim Einsatz elektronischer Rechner - einige Schätzmethoden praktisch nicht anwendbar sind.

Von der Sache, vom ökonomischen Inhalt her, sind die Bedingungen für die Anwendung ökonometrischer Verfahren im Industriebetrieb erheblich günstiger als in der Volkswirtschaft. Das liegt erstens an dem hohen Anteil fertigungstechnologischer Beziehungen, deren Parameter - z.B. die Einsatzmengen je Erzeugniseinheit - bei einem gegebenen Fertigungsverfahren technisch determiniert sind, so daß das statistische Schätzungsproblem entfällt. Für die Prognosegenauigkeit ist zudem bedeutsam, daß diese Parameter meist streuungslos sind.

Zum anderen sind betriebliche Daten in der Regel von weit geringerer Aggregation als volkswirtschaftliche Größen. Je stärker aber - inhaltlich und zeitlich - die Daten zusammengefaßt werden, desto häufiger treten Wechselwirkungen zwischen diesen Makrodaten auf. Sie führen, wie noch im einzelnen gezeigt wird, zu Schwierigkeiten bei der Parameterschätzung, die bei den weitgehend atomisierten betriebswirtschaftlichen Größen daher seltener auftreten.

Der höhere Anteil technologischer Beziehungen und die geringere Aggregation führen allgemein zu einer größeren Bestimmtheit betrieblicher Vorgänge gegenüber volkswirtschaftlichen Abläufen. Im Zusammenhang damit, daß auch die Rahmenbedingungen wirtschaftlichen Handelns in Betrieben wesentlich detaillierter und damit genauer sind, folgt daraus ein weiterer bedeutsamer Vorteil der

Betriebsökonomie: Das Netzwerk der Betriebszusammenhänge kann in stärkerem Umfang der Entscheidungsfindung zugrunde gelegt werden. Sind die Folgen betrieblicher Maßnahmen über dieses Netzwerk relativ genau vorherzusagen, so ist auch eine Auswahl der zweckentsprechenden Maßnahmen auf der Grundlage der voraussichtlichen Folgen möglich. Dies gilt umso mehr, als in den einzelnen Betrieben die Zielsetzungen verhältnismäßig leicht vereinheitlicht werden können, während in der Volkswirtschaftspolitik viele Interessengruppen auftreten, die zu oft ebenso vielen - miteinander unvereinbaren oder auch komplementären - Zielsetzungen führen.

Wie sich das Schwergewicht des industriellen Rechnungswesens von der vergangenheitsorientierten Abrechnung zur zukunftsgerichteten Entscheidungsrechnung verlagert, so wandeln sich auch die Aufgaben der Betriebsstatistik. Lange Zeit bestanden sie allein aus der Dokumentation vergangener Tatbestände und Ereignisse. Immer mehr aber rückt das Interesse an der weiteren betrieblichen Entwicklung in den Vordergrund, da allein die Zukunft noch beeinflusst werden kann. Die Vergangenheit interessiert nur insoweit, als sie funktionale Gesetzmäßigkeiten erkennbar macht, mit deren Hilfe Vorhersagen getroffen werden können. Methodisch entspricht diesem sachlichen Wandel eine Verlagerung von der deskriptiven Statistik mit ihren Kreisdiagrammen, Umsatzkurven und betrieblichen Kennzahlen zur mathematischen Statistik, insbesondere zur Einflußgrößenrechnung. Diese eliminiert aus dem komplexen und zunächst undurchschaubaren Betriebsgeschehen die Verschleierung, die durch die Vielfalt von einmaligen Vorgängen, durch "Störvariable" und ihre Zufälligkeiten sowie durch unwesentliche oder vermeintliche Einflußgrößen hervorgerufen wird. Damit legt sie ein Netz betriebsindividueller Zusammenhänge frei. "Betriebsökonomie ist eine Lehre vom Betrieb als einem stochastischen Beziehungsgefüge mit dem Ziel, betriebliche Parameter zu schätzen, betriebswirtschaftliche Hypothesen zu prüfen und zu prognostizieren."¹⁾

¹⁾ G. Menges, a.a.O., S. 253.

12 Grundbegriffe und Zielsetzungen

Das Betriebsmodell ist im ersten Ansatz ein Gleichungssystem, das für jede zu prognostizierende Größe eine Gleichung mit allen ihren betriebswirtschaftlich relevanten oder zumindest plausiblen Einflußgrößen enthält. Die Gewichte dieser Einflußgrößen, ihre Parameter oder Regressionskoeffizienten, sind zunächst unbekannt.

Die Parameter dieses Gleichungssystems, die in ihrer Gesamtheit die Struktur des Modells ausmachen, sind folglich mit Hilfe mathematisch-statistischer Verfahren auf der Grundlage empirischer Werte für die Modellvariablen zu schätzen.

Die Struktur wird aus den Daten der Vergangenheit ermittelt. Verwendet man das erhaltene Gleichungssystem für die Prognose, so wird unterstellt, daß die Struktur auch für die Zukunft gültig bleibt.

Hierin liegt ein unvermeidbares Problem der Ökonometrie. Aus den Daten eines Jahres lassen sich die betrieblichen Gesetzmäßigkeiten nicht ableiten. Um die Art und die Stärke der Reaktion betrieblicher Größen auf geänderte Datenkonstellationen zu prüfen, braucht man die Daten mehrerer, möglichst vieler Jahre. Je breiter aber die statistische Basis wird, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, daß sich die Struktur in dem langen Beobachtungszeitraum geändert hat.

Nicht für alle nach sachtheoretischen Gesichtspunkten konstruierten Betriebsmodelle sind die Parameter numerisch bestimmbar (Identifikationsproblem).

Wiederum können nicht für alle identifizierbaren Modelle die gleichen Schätzmethoden eingesetzt werden; sind mehrere Schätzverfahren anwendbar, so führen sie in der Regel zu unterschiedlichen Ergebnissen.

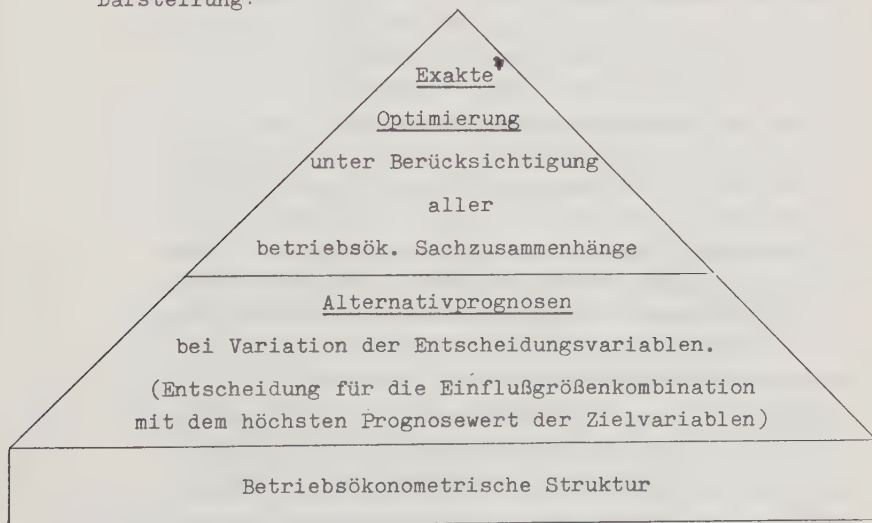
Die Abhängigkeit der Schätzmethode vom Typ des zugrunde liegenden Betriebsmodells ist im Kapitel 4 näher beschrieben; insgesamt scheint für die Anwendung in industriellen Großbetrieben die Schätzung der redu-

zierten Form nach der Methode der kleinsten Quadrate die zweckmäßigste, vielfach die einzig praktikable Schätzmethode zu sein. Sie ist die einfachste zu unverzerrten Schätzwerten führende Methode, weist aber gegenüber wesentlich komplizierteren Verfahren hinsichtlich Konsistenz und Effizienz nur geringfügig schlechtere statistische Eigenschaften auf.

Wesentliches Beurteilungskriterium für die Güte der Vorhersage ist die Prognosegenauigkeit; sie äußert sich in der Weite des Prognoseintervalles um den Erwartungswert der zu prognostizierenden Variablen.

Mit Hilfe der reduzierten Form werden die Prognosewerte der endogenen Variablen aufgrund der konkreten Werte ihrer jeweiligen Einflußgrößen geschätzt. Die reduzierte Form dient jedoch nicht nur der reinen Prognose, sie ist auch Grundlage der zielgerichteten Optimalplanung.

Die - bei aller methodischen Unterschiedlichkeit - weitgehende Entsprechung von Optimierung und Prognose für die Entscheidungsfindung verdeutlicht die folgende Darstellung:



Die exakte Optimierung unter Berücksichtigung aller betriebsökonomischen Sachzusammenhänge ist bis heute ungelöst; Kapitel 6 zeigt die methodischen Ansätze des Operations Research, die Betriebsstruktur in exakten Optimierungsverfahren zu berücksichtigen.

Anstelle der direkten Optimierung können jedoch Alternativprognosen nutzbringend für die Entscheidungsvorbereitung eingesetzt werden. Ihr Ziel ist es, die exogenen Größen, soweit sie - als Entscheidungs- oder Kontrollvariable - beeinflussbar sind, numerisch so anzusetzen, daß - unter Beachtung der Betriebsrestriktionen - keine andere Datenkombination über die ökonomische Struktur zu einem besseren Wert der betriebspolitischen Zielgröße führt.

Die sachliche Entsprechung von Prognose und Optimierung bei gegenläufiger Rechnungsrichtung wird für die gewinnorientierte Programmplanung eines Industriebetriebes in Kapitel 2 dargestellt.

Unter Optimierung wird in der Betriebswirtschaftslehre und auch in der betrieblichen Praxis immer seltener Gewinnmaximierung, d.h. die Maximierung der Gewinnerwartung, verstanden.

Mit der Abkehr von den deterministischen Entscheidungsmodellen und dem Übergang auf die unabdingbare Unsicherheit berücksichtigenden stochastischen Entscheidungungsverfahren wird das Risiko einer Entscheidung, ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Gewinnes, zu einer eigenen entscheidungsrelevanten Größe. Die Behandlung von Risikosituationen in der modernen Entscheidungstheorie und in der praktischen Anwendung beschreibt Kapitel 3.

Nachdem in Kapitel 4 die zweckmäßige methodische Verbindung zwischen der Strukturschätzung und der Entscheidung unter Unsicherheit behandelt wurde, bringt Kapitel 5 ein praktisches betriebsökonomisches Bei-

spiel zur Entscheidung über das nutzenmaximale Produktionsprogramm (d.h. die optimale Gewinn - Risiko - Kombination) eines Betriebes der Elektroinstallation. Hierzu wird ein allgemeines und differenziertes, auf der ökonometrischen Struktur aufbauendes Schema der Deckungsbeitragsrechnung entwickelt.

2 Die betriebsökonometrische Struktur als gemeinsame Grundlage der Prognose und der Optimalplanung

Das sich aus der ökonometrischen Auswertung empirischer Daten ergebende Netzwerk betrieblicher Gesetzmäßigkeiten kann - unter der Annahme gleichbleibender Struktur - auch zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung genutzt werden.

Die schon in der volkswirtschaftlichen Anwendung recht fragwürdige Annahme gleichbleibender Struktur ist in der Betriebsökonomie in noch stärkerem Maße angreifbar. Das hat seinen Grund wiederum in der weitaus geringeren betrieblichen Datenaggregation. Mit den atomisierten Daten sind auch die betriebsökonometrischen Strukturparameter verhältnismäßig instabil. Bei allen verfahrenstechnischen Änderungen, bei Herausnahme alter und Einführung neuer Produkte, bei Preisänderungen und bei gesetzlicher Umstellung z. B. des Umsatzsteuersystems: ständig ändern sich die Parameter der Betriebsstruktur. Glücklicherweise vollziehen sich die Struktursprünge häufig in den technologischen Beziehungen, so daß die Schätzproblematik davon nicht berührt wird. Eine wesentliche und permanente betriebsökonometrische Arbeit ist somit die Anpassung der technologischen Strukturen, der Materialpreise, Lohnsätze usw.

Unter allen - zur Prognose der endogenen Variablen nutzbaren - Konstellationen der exogenen Daten ist auch diejenige, die

- ▷ in bezug auf die Inanspruchnahme der betrieblichen Kapazitäten realisierbar ist
- und
- ▷ hinsichtlich der endogenen Variablen, die das Betriebsziel repräsentiert, zu einem Optimum führt.

Ziel der exakten, auf Extremierung einer Zielfunktion beruhenden Optimierungsverfahren innerhalb des Operations Research ist es, diese "Optimal-Prognose" und die zu ihr führende Kombination der exogenen Daten nicht durch probierendes Prognostizieren (Simulation) zu ermitteln, sondern Algorithmen einzusetzen, die auf direktem Wege und unter Beachtung der betrieblichen Restriktionen das Optimum ansteuern. Bei aller rechentechnischen Unterschiedlichkeit von Prognose und der Optimalplanung ist es wesentlich, daß beide Rechnungen gleichermaßen auf der individuellen betriebsökonomischen Struktur des Betriebes basieren. Weil die betriebsökonomische Basis in der Praxis fast ausnahmslos fehlt oder zumindest unvollständig ist, entsprechen viele Optimierungsverfahren dieser theoretischen Bedingung nicht. Diese OR-Verfahren schneiden sich dann aus dem gesamten Wirkungszusammenhang des Betriebes Inseln - meist einen Teil der rein technologischen Beziehungen - heraus, deren Daten sie verarbeiten. Die Folge solcher Teiloptimierungen ist - wenn nicht schon Restriktionen in anderen Bereichen verletzt werden - eine Divergenz zwischen Optimierung und Prognose: Setzt man die Ergebnisse der Optimierungsrechnung als exogene Daten in das betriebsökonomische System ein, so zeigt sich, daß diese Entscheidung keineswegs - zumindest

nicht notwendigerweise - den besten Prognosewert liefert, da hier das Teiloptimum nicht mit dem Gesamt-optimum korrespondiert und durch die ignorierten ökonometrischen Beziehungen entwertet wird.

Damit das OR-Optimalergebnis auch widerspruchsfrei zum Prognose-Optimum führt, müssen also beide Rechnungen von der gleichen und vor allen Dingen vollständigen betriebsökonometrischen Struktur ausgehen.

In Abschnitt 6 wird auf die Einzelheiten des Zusammenhanges zwischen Prognose und Optimalplanung und seine methodischen Auswirkungen näher eingegangen.

Nicht alle Entscheidungen aber können über die ökonometrische Struktur bis zu ihren wirtschaftlichen Auswirkungen durchgerechnet werden, z. B. nicht alle einmaligen Entscheidungen wie etwa der Bau eines neuen Zentrallagers am optimalen Standort. Solche organisatorischen Eingriffe in den Betrieb verändern einmalig und sprunghaft die Betriebsstruktur.

OR-Methoden, mit denen Entscheidungen dieser Art vorbereitet werden, können daher nicht auf der Grundlage eines ökonometrischen Systems der betrieblichen Ergebnisprognose simuliert werden; ihre Strukturwirkungen sind, bevor nicht empirisches Material vorliegt, nur schwer zu quantifizieren. Ökonometrisch zu prüfen sind aber alle unternehmerischen Entscheidungen, die den ständigen Gegenstand der betrieblichen Tätigkeit, das Fertigungsprogramm, betreffen. Der Erzeugungsprozeß, der jahrelang den Betrieb durchläuft, formt auch seine ökonometrische Struktur, nicht nur, wenn auch vor allem, in seinen technologischen Beziehungen.

21 Das Fertigungsprogramm als Haupteinflußgröße
in einem betriebsökonomischen System

Das Fertigungsprogramm nach Art und Menge der Erzeugnisse ist das eigentliche Kernproblem eines Industriebetriebes und zugleich das Hauptinstrument der Unternehmenspolitik.

Der Stückzahlenvektor eines Betriebes der Serien- oder Massenfertigung ist die Haupteinflußgröße nahezu aller wirtschaftlich bedeutsamen Ergebnispositionen auf der Kosten- und Ertragsseite.

Die Stückzahlen bestimmen den Umsatz einerseits, den Materialverbrauch und den Fertigungslohn andererseits; sie wirken aber mehr oder weniger stark auf alle Gemeinkostenarten, da z.B. Hilfslöhne, Transportkosten, Kosten im Verwaltungsbereich usw. in einem bestimmten Anteil der Leistungsentwicklung folgen.

Aus den Stückzahlen leitet sich ferner ab, wieviel Personal für diese Leistung benötigt wird, wie die Auslastung der Fertigungseinrichtungen ist, wo und in welchem Maße Kapazitätserweiterungen (Investitionen) vorzunehmen sind, in welchem Finanzbedarf sich diese Investitionen niederschlagen usw. Die Stückzahlen bedingen z.B. auch preis- und wettbewerbspolitische Maßnahmen, um überhaupt am Markt realisiert werden zu können.

Die Auswirkungen von Stückzahl-Festlegungen auf den realen Betrieb, sein Personal, seine Kapazität und Investitionen, seine Markt- und seine Finanzsituation sind in Abb. 1 als Prognosemodell dargestellt. Diese Realabhängigkeiten wirken rechnerisch "nach innen" auf die Kosten und Erträge und somit auf das Fertigungsergebnis.

Alle diese Wechselwirkungen aus den Bereichen der Marktforschung, der Fertigungstechnik, der Finanzen und des Rechnungswesens müssen in einem betriebsökonomischen Modell vereinigt werden, um die verbundenen Auswirkungen von Programmentscheidungen prognostizieren

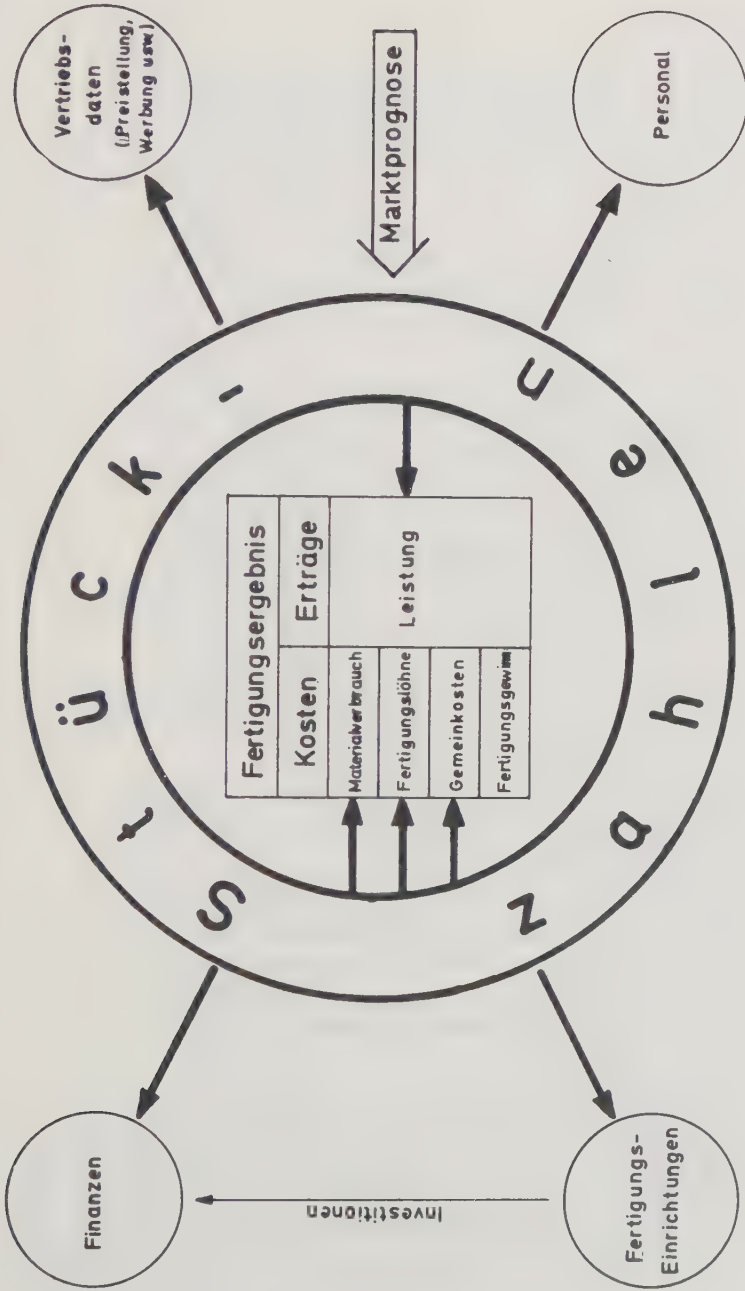


Abb. 1: Schema einer gesamtbetrieblichen Prognose

zu können.

Sind die Stückzahlen die wesentliche Einflußgröße auf die wirtschaftliche Situation eines Betriebes, dann sind sie auch die wichtigste Entscheidungsvariable.

Somit liegt es nahe, nicht nur die aus alternativen Fertigungsprogrammen, d.h. aus verschiedenen Stückzahlenkombinationen resultierenden Ergebnisse zu prognostizieren und zu vergleichen, sondern direkt in einem Optimierungsverfahren - in umgekehrter Richtung - einen Stückzahlenvektor zu ermitteln, der dann zu dem besten Prognoseergebnis führt. Die Richtung kehrt sich insofern um, als nun nicht mehr gefragt wird, welche Anforderungen ein Fertigungsprogramm an den Fertigungs-, Vertriebs-, Finanz- und Personalbereich stellt, sondern die realen Gegebenheiten dieser Bereiche als Nebenbedingungen in das Optimierungsmodell eingehen, in die dann das ergebnisoptimale Programm eingeschmiegt wird. Diesen Zusammenhang zeigt Abb. 2.

Prognose und Optimierung sind hier also zwei Seiten einer Münze, die sich lediglich in den Ausgangsdaten (jeweils dick gezeichnet) und in der - durch Pfeile angedeuteten - Rechenrichtung unterscheiden.

Das ökonometrische Modell gibt den Rahmen an, innerhalb dessen sich die Optimierungsverfahren bewegen müssen, der aber auch ausgefüllt werden muß.

Hat sich z.B. mathematisch-statistisch erwiesen, daß die Stückzahlen wesentlich vom Preis abhängen, so würde die Lineare Programmierung die Betriebsrealität nicht abdecken, da sie über den gesamten Optimierungsspielraum hinweg mit gleichbleibenden Preisen (bzw. Bruttogewinnen) arbeitet.

Das ist auch der Grund dafür, daß vielfach die Lineare Programmierung gerade an ihrem Standardbeispiel, der Optimierung von Produktionsprogrammen, keine praktisch befriedigenden Ergebnisse erzielen kann und durch ein Verfahren der Nichtlinearen Programmplanung ersetzt werden muß.

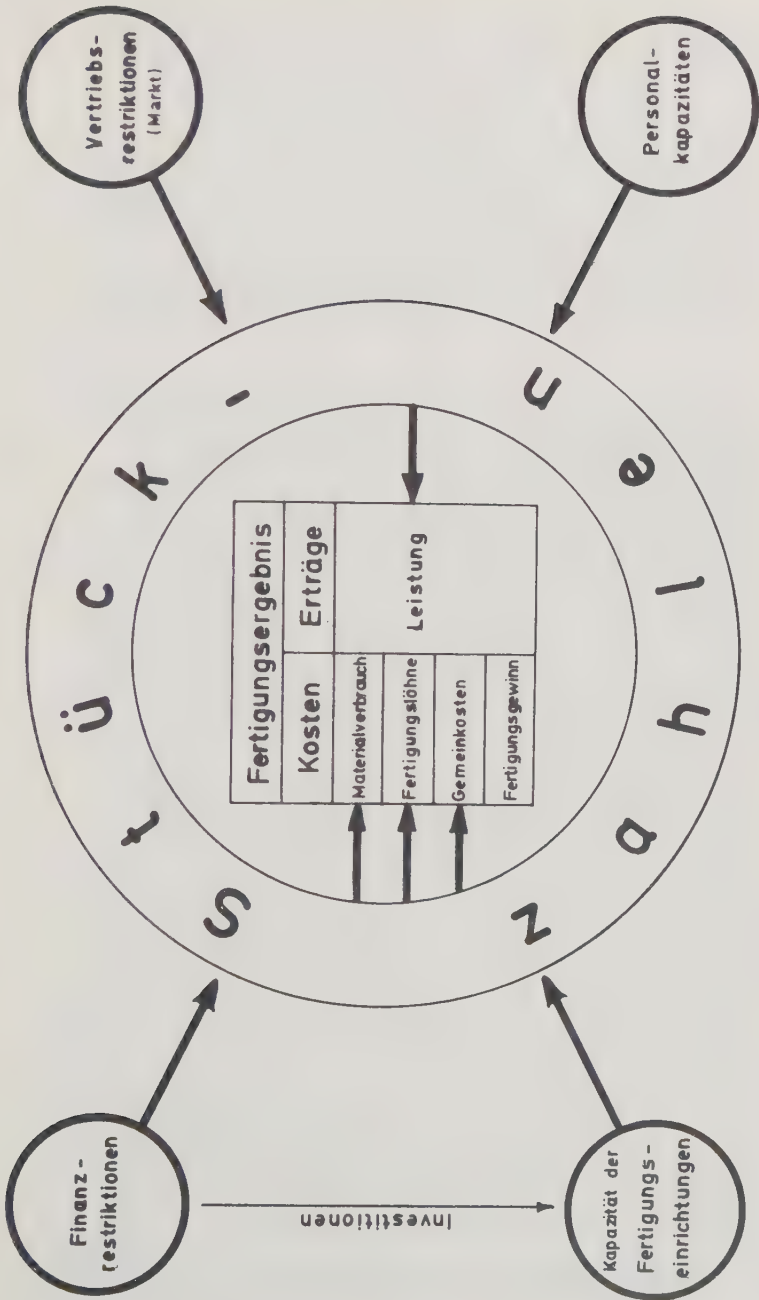


Abb. 2: Schema einer betriebsökonomischen Optimierung

Die Prüfung auf Modellisomorphie ¹⁾ ist auf dem Hintergrund eines betriebsökonometrischen Modells kein Glaubensbekenntnis mehr, sondern selbst auch wieder mit quantitativen Methoden zu lösen.

Berücksichtigt man bei Aufstellung eines Modells zur Programmoptimierung die sich im ökonometrischen Modell ergebenden funktionalen Zusammenhänge, so wird verhindert, daß scheinbar optimale Lösungen (z.B. Teiloptima) verwirklicht werden, die bei Beachtung aller ökonometrischen Interdependenzen negativ zu beurteilen wären.

22 Die Deckungsbeitragsrechnung als konsequente Folge eines betriebsökonometrischen Planungssystems

Sind die Stückzahlen die wesentlichen Einflußgrößen eines Industriebetriebes, so drücken die ihnen zugeordneten Parameter der ökonometrischen Struktur aus, um welchen Betrag sich die jeweiligen endogenen Größen - z.B. die Kosten - ändern, wenn die Stückzahl eines Erzeugnisses um eine Einheit steigt. Ökonometrischem Denken entspricht somit notwendigerweise betriebswirtschaftliches "Grenzdenken", z.B. in Grenzkosten:

Durch die statistische Ermittlung einer Kleinstquadrat-Kostengeraden z.B. werden rechnerisch die Kosten in einen fixen und einen variablen - meist proportionalen - Teil aufgespalten.

Dementsprechend berücksichtigt ein auf einem betriebsökonometrischen Modell basierendes industrielles Rechnungswesen nur die Kostenteile, die sich mit der Stückzahl verändern. Zugleich bezieht es aber auch die sich ändernden Erträge (Stückpreise) ein. Die Differenz zwischen dem Stückpreis und den - proportionalen - Grenzkosten ist der Stück-Deckungsbeitrag; er gibt somit die Änderung des Betriebsergebnisses bei Zunahme um eine Einheit eines Erzeugnisses an. Ist das Betriebsergebnis wie in den meisten praktischen

¹⁾ siehe E. Kosiol: "Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 1961, S. 318 - 334, insbes. S. 321.

Fällen die betriebliche Zielgröße, so stellt der Stück-Deckungsbeitrag eines Erzeugnisses die Ausgangszahl jeder Programmoptimierung dar.

Zu den stückzahlbedingten proportionalen Änderungen von Kosten und Erträgen treten in bestimmten Betriebs-situationen sprunghafte Ergebnisänderungen ein, etwa bei Kapazitätsanpassungen. Der Ansatz dieser Sprungfunktionen in der betriebsökonomischen Struktur und ihre Berücksichtigung in der stufenweisen Deckungsbeitragsrechnung werden in Abschnitt 54 behandelt.

23 Die Berücksichtigung der Streuung in der Planung

Die gemeinsame Verankerung von Prognose und Optimierung in der betriebsökonomischen Struktur bewirkt trotz der unterschiedlichen Richtung beider Rechnungen, daß die - algorithmisch meist schwierigere - Optimierung zumindest tendenziell durch mehrfache Prognose unter wechselnden Datenkonstellationen ersetzt werden kann. Das Ergebnis ist dann zwar kein exaktes, unüberbietbares Optimum, sondern nur die beste von den - im Verhältnis zu den kombinatorisch möglichen Konstellationen zahlenmäßig oft unbedeutenden - simulierten Lösungen. Das Simulieren am "betriebswirtschaftlichen Sandkasten" zum Zwecke der Entscheidungsfindung hat gegenüber den exakten Optimierungsverfahren aber auch Vorteile. Ein wesentlicher Vorzug der simulierten Optimierung ist es, daß bei der ökonomischen Prognose zusammen mit den Prognosewerten der endogenen Variablen auch deren Prognosestreuung ermittelt wird. So läßt sich nicht nur das im Mittel zu erwartende Betriebsergebnis angeben, sondern ¹⁾ auch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgröße, woraus z.B. das Verlustrisiko der jeweiligen Programmentscheidung ermittelt werden kann.

In den meisten Verfahren der Programmoptimierung beschränkt man sich darauf, an die Stelle der Wahrscheinlichkeitsverteilungen deren Erwartungswerte zu setzen und diese zu maximieren bzw. zu minimieren.

¹⁾ über gewisse Annahmen des Verteilungstyps

Die Vernachlässigung der Streuung führt nicht grundsätzlich zu falschen Entscheidungen. Insbesondere wenn

- ▷ die Streuung der Zielgröße bei allen Entscheidungsalternativen annähernd gleich groß ist
oder
- ▷ sich das wirtschaftliche Ereignis - wie im Falle fortgesetzter Glücksspiele - häufig wiederholt. Das Gesetz der großen Zahl bewirkt hier, daß die Wahrscheinlichkeit, mit dem realisierten Durchschnitt in ein gegebenes Intervall um den Erwartungswert zu gelangen, mit steigender Zahl der Wiederholungsfälle immer größer wird.

Bei der Simulation der wirtschaftlichen Folgen einzelner Entscheidungsalternativen über die betriebsökonomische Struktur, z.B. beim Durchspielen verschiedener Fertigungsprogramme, wird die erste Voraussetzung in etlichen Fällen, zumindest tendenziell, erfüllt sein. Denn ein Großteil der ökonomischen Gleichungen sind streuungslose technologische Beziehungen. Sie bewirken, daß verschiedene Programmalternativen zwar zu unterschiedlichen Erwartungswerten, z.B. hinsichtlich des Gewinns, führen; die Streuung des Gewinns wird in diesen Fällen jedoch nur relativ wenig voneinander abweichen.

Vielen Entscheidungsfällen, etwa dem in Abschnitt 5 durchgerechneten, wird die Bedingung gleicher Zielgrößen-Streuung bei allen Entscheidungsalternativen nicht gerecht. Deshalb kann in betriebsökonomischen Systemen das durch die Prognosestreuung verursachte Entscheidungsrisiko nicht generell unberücksichtigt bleiben.

Auch die zweite Voraussetzung, unter der eine Extremierung von Erwartungswerten die Entscheidung nicht verfälschen würde, nämlich die häufige Wiederholung gleichartiger Vorgänge infolge einer Entscheidung, ist nur teilweise erfüllt. Eine globale Programmentscheidung führt zwar zu vielfach wiederholten einzelnen

Fertigungsvorgängen; eine Investitionsentscheidung dagegen ist in der Regel ein einmaliger, nur selten gleichartig erneut auftretender Vorgang. Zudem ist die Wiederholung von Fertigungsprozessen von erheblich geringerer Gleichartigkeit als die von Glücksspielen.

Das Risiko, ausgedrückt durch die Streuung der Zielgröße, ist also nicht nur unterschiedlich groß für die einzelnen Entscheidungsalternativen; es ist auch von der Häufigkeit der Ereigniswiederholung abhängig, wodurch es besonders für den Fall der einmalig eintretenden Entscheidungsfolgen zu einem selbständigen Entscheidungskriterium wird. "Praktisch verliert... die mathematische Erwartung als Entscheidungsgrundlage an Bedeutung: der Unternehmer verhält sich gegenüber der relativen Größe des Risikos nicht indifferent.... Die Entscheidung wird also auch von der psychologischen Bereitschaft ..., Risiken auf sich zu nehmen, abhängen." ¹⁾

Die moderne Entscheidungstheorie hat ganz allgemein für die Entscheidung unter Unsicherheit abstrakte Verfahren entwickelt. In Abschnitt 5 wird der Versuch unternommen, aus ihnen ein konkretes, auf ein betriebsökonomisches System zugeschnittenes Modell der betrieblichen Entscheidungsfindung zu entwickeln.

Dazu ist es erforderlich, zunächst die Elemente der modernen Entscheidungstheorie, soweit sie für die betriebsökonomische Entscheidungsfindung benötigt werden, im Zusammenhang darzustellen.

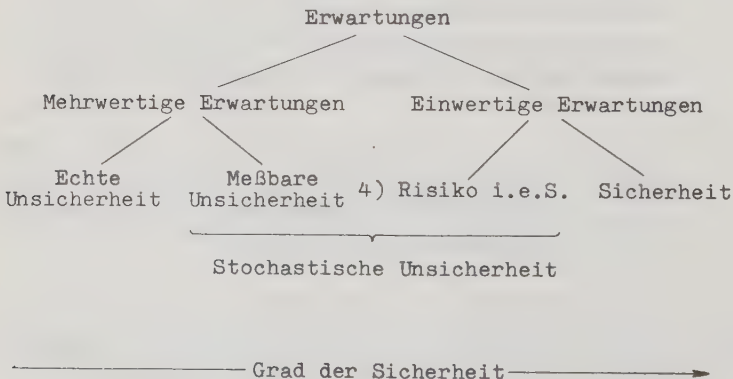
¹⁾ H. Albach: "Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen", Köln und Opladen 1959, S. 95.

3 Die Behandlung von Risikosituationen in der modernen Entscheidungstheorie und in der praktischen Anwendung

Ohne die allgemeine Anwendbarkeit der die wirtschaftlichen Risiken berücksichtigenden Methoden zu beeinträchtigen kann angenommen werden, daß das Ziel der Unternehmung die Gewinnmaximierung sei. In den bisher praktisch eingesetzten Optimierungsverfahren wird dies - zur Vermeidung rechentechnischer Schwierigkeiten - der Maximierung von Erwartungswerten gleichgesetzt. Dieses Prinzip führt zu zweifelhaften Ergebnissen, wenn die beiden o.a. Bedingungen der Gleichheit der Streuungen oder der häufigen Wiederholungen nicht erfüllt sind.

Bea behauptet, "daß bei riskanten Entscheidungen der Unternehmer Gewißheit darüber hat, wie er am besten das Gewinnmaximum erreichen *k a n n*" ¹⁾; wichtiger aber noch ist die Frage, "ob der Unternehmensleiter bei unsicheren Entscheidungen einen großen, aber mit Risiken verbundenen Gewinn überhaupt noch anstreben *w i l l*" ¹⁾.

Im Hinblick auf die anzuwendenden Methoden soll ²⁾ folgende begriffliche Unterscheidung der Unsicherheits ³⁾ - Situationen getroffen werden:



- 1) F.X. Bea: "Kritische Untersuchungen über den Geltungsbereich des Prinzips der Gewinnmaximierung", Berlin 1968, S. 60.
2) in Anlehnung an H. Albach, a.a.O., S. 3 - 4.
3) Unsicherheit und Ungewißheit werden meist synonym gebraucht (vgl. etwa H. Schneeweiß: "Entscheidungskriterien bei Risiko", S. 7).
4) Von Knight als Risiko bezeichnet (vgl. F.H.Knight: "Risk, uncertainty and profit", New York 1965, S. 20).

Methodisch bedeutsam sind die mittleren Felder zwischen der - einfachere Entscheidungsverfahren ermöglichenden - Sicherheit in der Erwartung zukünftiger Größen und der unberechenbarem - z.B. politisch bedingten - echten Unsicherheit. Die Bereiche des Risikos i.e.S. (mit der Tendenz zur Reduzierung einer Verteilung auf einen Wert aufgrund des Gesetzes der großen Zahl) und der meßbaren - objektiven oder subjektiven - Unsicherheit sind letztlich nur graduelle Unterschiede der Sicherheit. Daher soll folgende erweiterte Risikodefinition gelten: "Risikosituationen ... sind Unge-
wißheitssituationen, die sich durch Angabe einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschreiben lassen" ¹⁾.

Hinsichtlich der Entscheidung unter Unsicherheit sind Risikoverteilungen, die sofort - z.B. über Sicherheitszuschläge - in einem Wert verdichtet werden, zu unterscheiden von solchen, die "erst in der Entscheidungsfunktion auf einwertige Größen reduziert" ²⁾ werden.

Nach Bidlingmaier bewirkt das Auftreten von Risikosituationen einen "intrapersonellen Zielkonflikt", den Ambivalenz- oder Appetenz-Aversions-Konflikt: eine positive Entscheidungsfolge tritt verbunden mit einer negativen Wirkung auf. "Die Entscheidungseinheit muß z.B. damit rechnen, daß mit dem Streben nach möglichst hohen Gewinnen ... ein ebenfalls steigendes Verlustrisiko ... verbunden ist" ³⁾.

Eine Risikosituation liegt also vor bei bekanntem mittleren Gewinn, aber im Einzelfall - im Rahmen der Wahrscheinlichkeitsverteilung des Gewinnes - unbekanntem konkreten Gewinn.

31 Der Gesamtgewinn des Betriebes als risikorelevante Größe bei Entscheidungen unter Unsicherheit

Die Risikoaversion wird in der Regel umso größer sein, je schwächer die Finanzbasis des Unternehmens ist. Mit der veränderlichen geschäftlichen Ausgangssituation variiert auch die Einstellung zum

¹⁾ H. Schneeweiß, a.a.O., S. 2.

²⁾ H. Albach, a.a.O., S. 75.

³⁾ J. Bidlingmaier: "Zielkonflikte und Zielkompromisse im unternehmerischen Entscheidungsprozeß", Wiesbaden 1968, S. 58.

Risiko. Damit verbunden ist auch die wesentliche Feststellung, daß die Risikofreudigkeit eines Unternehmers nur von der Auswirkung einer Entscheidung auf den Gesamtgewinn abhängen kann. Die Haltung gegenüber einer riskanten Investitionsentscheidung wird hauptsächlich dadurch bestimmt, ob genügend andere Investitionen einen als hinreichend erscheinenden Gewinn sichern.

Da ein Unternehmensleiter in erster Linie an seinem Gesamteinkommen interessiert ist bzw. sich für diesen Gesamtgewinn gegenüber seinen Mitgesellschaftern oder Aktionären verantworten muß, gehen alle Rechnungen, die sich auf das Risiko e i n z e l n e r Entscheidungen beziehen, am Ziel der Unternehmung vorbei. Oft ist es geradezu Unternehmensstrategie, im Rahmen einer Risikopolitik auf der festen Grundlage zahlreicher, relativ sicherer Geschäftsaktivitäten riskante Neulandforschungen vorzunehmen. Hierin liegt ein bedeutsamer Vorteil großer Konzerne: im Verhältnis zu den kleineren Mitbewerbern kann weitgehend ¹⁾ nach Erwartungswerten entschieden werden, ohne daß ängstlich jedes Risiko vermieden werden müßte.

Sind das Gesamtergebnis und das Gesamtrisiko die wesentlichen Entscheidungskriterien eines Unternehmensleiters, so kann dessen relative Entscheidung nur durch ein Rechensystem fundiert werden, das alle wesentlichen Einflußgrößen auf das Betriebsergebnis und seine Streuung berücksichtigt. Lediglich in einem umfassenden System hat die Erfassung der Streuung als Maß für das Risiko ihre entscheidungstheoretische Berechtigung. Die Bildung von Verantwortungsbereichen mit getrenntem Ergebnisausweis innerhalb eines Konzerns führt zwangsläufig dazu, daß der Gewinn dieses Bereiches und seine Streuung zu den maßgeblichen Entscheidungskriterien werden.

Eine starke Dezentralisation der Unternehmung und die Bildung selbständiger und verantwortlicher Teilbereiche kann somit die unerwünschte Folge haben, daß jeder der relativ kleinen

¹⁾ Insbesondere bei Unabhängigkeit der Einzelmaßnahmen.

Bereiche große bereichsgefährdende Risiken meidet, obwohl diese insgesamt das Unternehmen nicht in Gefahr brächten und wahrscheinlich sogar zu steigenden Gewinnen führen würden.

Risiken einzelner Entscheidungen, die im Rahmen des Gesamtergebnisses nur eine untergeordnete Rolle spielen, werden in der Regel weiterhin nach dem Erwartungswert ihrer wirtschaftlichen Folgen gefällt.

32 Das Bernoulli-Prinzip und seine Berücksichtigung der Einstellung zum Risiko in der Nutzenfunktion

Das Auftreten von die Existenz des Unternehmens bedrohenden Risiken macht die Maximierung von Erwartungswerten, wie sie die Bayes-Regel fordert, wirtschaftlich unsinnig. Anstelle dieser Entscheidungsregel wird heute allgemein das BERNOULLI-Prinzip als rationale Maxime der Entscheidungsfindung anerkannt. Nach ihm ist eine Entscheidung dann rational, wenn sie ¹⁾ den Erwartungswert einer Nutzenfunktion maximiert. Nutzen wird nicht nur - z. B. - durch den Unternehmensgewinn bestimmt; in ihn gehen auch andere Größen, insbesondere die individuelle und subjektive Einstellung des Entscheidenden zum Risiko, ein. Die Nutzenmaximierung "ermöglicht, sämtliche Zielsetzungen des Unternehmens formal unter einen Oberbegriff zu subsumieren" ²⁾. Sie setzt aber auch das Vorhandensein einer individuellen Nutzenfunktion und mithin die Meßbarkeit des Nutzens voraus.

Lange Zeit wurde angenommen, daß der Nutzen nur ordinal meßbar sei. Man könne also nur sagen, welches von zwei Güterpaketen einen höheren subjektiven Nutzen hätte, nicht aber, wie hoch ihr absoluter

1) abgesehen von einer möglichen monotonen Transformation.

2) U. Schmidt-Sudhoff: "Unternehmerziele und unternehmerisches Zielsystem", Wiesbaden 1967, S. 76.

Nutzen sei. "Die 'Kardinalisten' gehen aber nun noch weiter. Die 'vor-v. Neumannschen Kardinalisten' behaupten, daß man auch Güterdifferenzen in der gleichen Weise nach ihrer Wünschbarkeit ordnen kann. Daraus folgt dann die Meßbarkeit bis auf eine lineare Transformation (d.h. nur der Nullpunkt und der Einheitspunkt der Nutzenskala sind willkürlich)" ¹⁾. Sind z.B. $u(A)$ $u(C)$ $u(B)$ die Nutzenwerte der Güter A, B und C in abnehmender Reihenfolge, so kann etwa sein:

$$u(A-C) > u(C-B),$$

d.h. der Nutzen des Gutes C liegt nach der subjektiven Einschätzung näher am Nutzen des Gutes B als an dem des Gutes A. Legt man die Nutzenwerte der Güter A und B willkürlich fest (mit $u(A) > u(B)$), dann läßt sich gleichsam der Nutzen des Gutes C interpolieren, was seiner kardinalen Meßbarkeit entspricht.

Von Neumann/Morgenstern haben eine verfeinerte kardinale Messung des Nutzens vorgeschlagen: "Jetzt stellt man das Individuum vor die Wahl, ob es lieber die Gütermenge C oder ein solches Lotteriebillet haben will, bei dem es mit der Wahrscheinlichkeit w ($0 < w < 1$) das Güterpaket A oder mit der Wahrscheinlichkeit $(1-w)$ das Güterpaket B erhält" ²⁾.

Bei geeignetem w ($w = w^*$) kann für jedes Individuum Indifferenz zwischen dem Gut C und dem Lotteriebillet (gleichbedeutend mit dem Erwartungswert des Nutzens der Güter A und B) erzielt werden.

Der Nutzen eines Gutes C (oder eines sicheren Gewinnes in bestimmter Höhe) wird also bestimmt durch den Erwartungswert einer Zweipunktverteilung des Nutzens, wobei die absoluten Nutzenwerte dieser beiden Punkte beliebig festgelegt werden und die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten so bemessen werden, daß subjektive Indifferenz zwischen dem sicheren Gut C und dem durch die Zweipunktverteilung verkörperten

¹⁾ W. Krelle: "Präferenz- und Entscheidungstheorie", Tübingen 1968, S. 81.

²⁾ W. Krelle, a.a.O., S. 82.

Lotteriebillet (A oder B) besteht.

Überträgt man diesen Gedankengang aus der Sphäre des Konsumentenverhaltens auf die Entscheidungsfindung in einem Industriebetrieb, so läßt sich die Ermittlung der Nutzenfunktion folgendermaßen veranschaulichen:

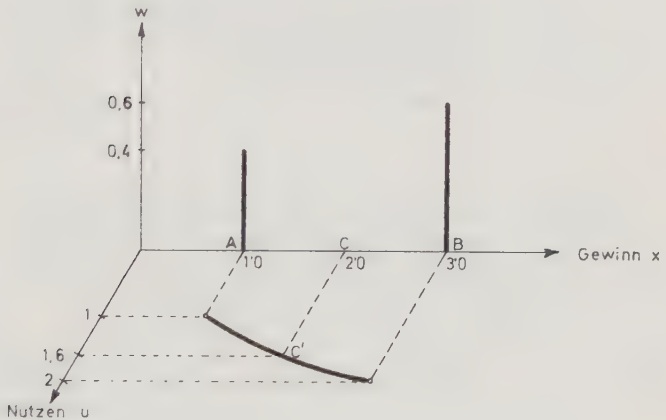


Abb. 3: Die Ermittlung der Funktion des Bernoulli-Nutzens

Zu ermitteln sei der subjektive Nutzen des Jahresgewinnes von 2 Mio. DM für den Unternehmer (C). Vergleichsmaßstäbe seien die Gewinne von 1 Mio. DM (A) und 3 Mio. DM (B). Die - frei gewählten - Nutzenindizes für diese Gewinne seien

$$u(A) = 1 \quad u(B) = 2.$$

Zu ermitteln ist die Wahrscheinlichkeit w_A (und $w_B = 1 - w_A$), bei der der Unternehmer das sichere Ereignis C (1 Mio. DM) und das Lotteriebillet, aufgrund dessen mit w_A 1 Mio., mit w_B 3 Mio. Gewinn erzielt werden, als subjektiv gleichwertig betrachtet.

Bei "erwartungstreuem Verhalten" des Unternehmers müßte er $w_A = w_B = 0,5$ ansetzen, da G genau in der Mitte von A und B liegt:

$$C = w_A \cdot A + w_B \cdot B = 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 3 = 2$$

Der Erwartungswert des Gewinnes wäre mit 2 Mio. DM genauso hoch wie der sichere Gewinn C.

Hat der Unternehmer aber eine Risikoaversion, so ist ihm die sichere Million lieber als der gleich hohe Erwartungswert der Zweipunktverteilung

$$A: G_A = 1 \text{ Mio.}, w_A = 0,5$$

$$B: G_B = 3 \text{ Mio.}, w_B = 0,5$$

Eine Nutzenindifferenz tritt bei ihm z.B. erst dann ein, wenn $w_A = 0,4$ und $w_B = 0,6$, wenn also der höhere Gewinn der Zweipunktverteilung - als Kompensation des Risikos - eine höhere Wahrscheinlichkeit hat. Der Nutzen des Gutes C ist dann:

$$u(C) = w_A \cdot u(A) + w_B \cdot u(B) = 0,4 \cdot 1 + 0,6 \cdot 2 = 1,6$$

Infolge seiner Sicherheit wird der genau in der Mitte zwischen A und B liegende Gewinn C mit 1,6 Nutzeinheiten höher bewertet als der mittlere Nutzen von 1,5 Nutzeinheiten. Diese Risikoaversion drückt sich - nach obiger Ermittlung des Punktes C' in Abb. 3 und analoger Berechnung der Nutzenwerte anderer Gewinne - im konkaven Verlauf der Nutzenfunktion in der x, u-Ebene aus.

Bei willkürlicher Vorgabe von zwei Nutzenwerten zu irgendwelchen Gewinnen läßt sich also die Nutzenfunktion ermitteln. Zur rechnerischen Vereinfachung werden der Gewinn A meist mit Null, die Nutzenwerte zu $u(A) = 0$ und $u(B) = 1$ festgelegt.

Ersetzt man C allgemein durch den Gewinn x ($A < x < B$), so gilt dann:

$$\begin{aligned}
 u(x) &= w_A \cdot u(A) + w_B \cdot u(B) ; (w_A + w_B = 1) \\
 &= w_A \cdot 0 + w_B \cdot 1 \\
 u(x) &= w_B \\
 &=====
 \end{aligned}$$

Ähnlich wird der Nutzen $u(x)$ gemessen, wenn x außerhalb der "Meßpunkte" A und B liegt, z.B. bei $A < B < x$ und $x = 4$ Mio. DM:

$u(C)$ wird errechnet, indem das bekannte $u(B) = 1$ als wahrscheinlichkeitsgewogenes Mittel aus $u(A) = 0$ und $u(x) = u(4.000)$ dargestellt wird. Ist z.B. das indifferente $w_C = 4/5$ (erwartungstreu wäre $w_C = 3/4$), dann gilt:

$$\begin{aligned}
 u(B) &= w_A \cdot u(A) + w_C \cdot u(C) \\
 &= 0 + 4/5 \cdot u(C) \\
 u(C) &= \frac{1}{4/5} \cdot u(B) = \frac{1}{4/5} \cdot 1 = \frac{5}{4}
 \end{aligned}$$

Allgemein:

$$\begin{aligned}
 u(x) &= \frac{1}{w_x} \\
 &=====
 \end{aligned}$$

Bei $x < A < B$ ist $u(A)$ das gewogene Mittel aus dem - negativen - $u(x)$ und $u(B) = 1$:

$$\begin{aligned}
 u(A) &= w_x \cdot u(x) + (1-w_x) \cdot u(B) \\
 0 &= w_x \cdot u(x) + (1-w_x) \cdot 1 \\
 w_x \cdot u(x) &= -(1-w_x) \\
 u(x) &= -\frac{1-w(x)}{w_x} \\
 &=====
 \end{aligned}$$

Der Nutzen eines Gewinnes bestimmter Höhe wird also bestimmt durch den - über die Indifferenzwahrscheinlichkeit ermittelten - Erwartungswert einer Zweipunktverteilung des Nutzens, oder umgekehrt: eine Zweipunktverteilung des Gewinnes, die einfachste Risikosituation, wird auf e i n e n Nutzenwert, der das Risiko beinhaltet, reduziert.

Dieser Erwartungswert der Zweipunktverteilung des Nutzens ist - so das Bernoulliprinzip - das Entscheidungskriterium (das Präferenzfunktional Ψ): von allen möglichen Entscheidungen wird die als die beste ausgewählt, deren Nutzenerwartung den höchsten Wert hat:

$$\Psi(w) = E[u(x)]$$

In der betrieblichen Praxis sind die Folgen einer konkreten Entscheidung nur selten in der Form der Zweipunktverteilung darstellbar. Meist handelt es sich um kompliziertere Risikoverteilungen. Auch in diesen Fällen muß die Gewinnverteilung auf e i n e n Entscheidungswert reduziert werden.

Das kann erfolgen über eine Repräsentativbewertung der Gewinnverteilung aufgrund bestimmter Momente dieser Verteilung; dieses Verfahren stellt aufgrund seiner einfachen Anwendung und auch mit sachlicher Berechtigung für die Praxis - siehe Kapitel 5 - die zweckmäßigste Lösung dar.

Die Reduzierung kann aber auch erfolgen individuell für jede noch so ausgefallene Gewinnverteilung, und zwar mit Hilfe des Chancenäquivalenzfeldes ¹⁾. Unter Chance werden die - einander ausschließenden - Elemente der Gewinnverteilung (des "Chancenbündels") verstanden, die möglichen Gewinne einer Entscheidung und die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten.

Mit Hilfe von Indifferenzkurven wird - entsprechend der Abb. 4 - jede Chance umgerechnet auf einen Gewinn x_0 ,

1) Vgl. W. Krelle: "Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung", in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, 1957, S. 632 - 677.

der mit der zugehörigen "diskontierten" Wahrscheinlichkeit der ursprünglichen Chance subjektiv gleichwertig ist. Da die Chancen der Gewinnverteilung einander ausschließen, lassen sich ihre x_0 -Indifferenzwahrscheinlichkeiten addieren.

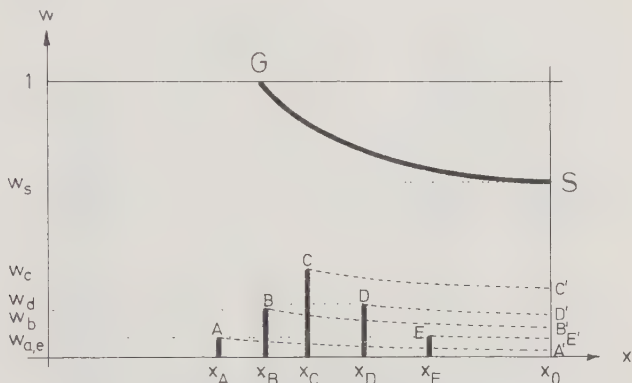


Abb. 4: Die Vergleichsbarmachung von Gewinnverteilungen

Damit kann die gesamte Gewinnverteilung in die ihr äquivalente einfache Chance, die x_0 - w_s -Kombination, umgerechnet werden. Ihr entspricht wiederum über die entsprechende Indifferenzkurve der Gewinn des Punktes G mit der Wahrscheinlichkeit 1, das Gewiheitsäquivalent. Dieser sichere Gewinn ist subjektiv der Wahrscheinlichkeitsverteilung des Gewinnes gleichwertig. Die Entscheidungsalternative mit dem größten Gewiheitsäquivalent weist die günstigste Gewinn - Risiko - Kombination auf. Die geschilderte Einzelbewertung von Chancen ist zwar eine individuelle und allgemeingültige Methode der Reduzierung von Gewinnverteilungen auf einen Entscheidungswert, sie ist aber gerade deshalb - und auch wegen ihrer hohen Quantifizierungsansprüche - gegenüber der Repräsentativbewertung zu kompliziert für die praktische Entscheidungsfindung im Betrieb.

Die Nutzenfunktion gibt zu jedem Gewinn den zugehörigen, das Risiko berücksichtigenden Nutzenwert. Sie kann benutzt werden, um eine gegebene Gewinnverteilung

lung in die entsprechende Nutzenverteilung zu überführen, wie es Abb. 5 für den Fall normalverteilten Gewinnes zeigt:

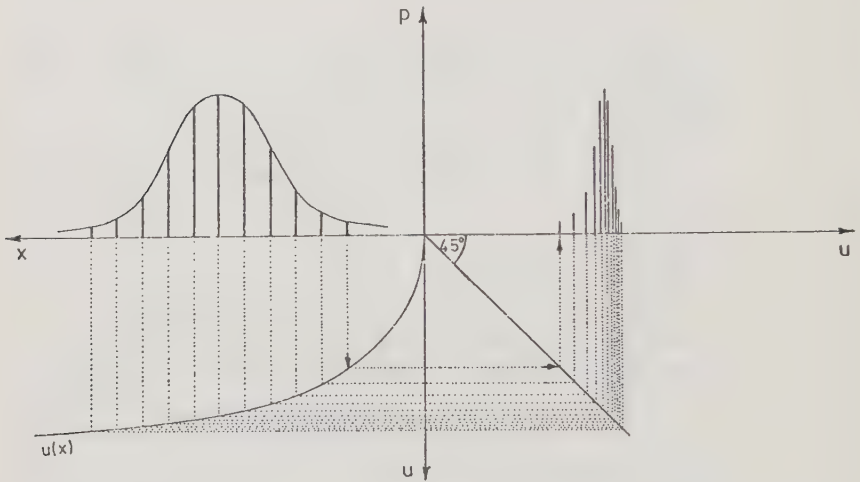


Abb. 5: Normalverteilte Gewinne (x) führen bei Risikoaversion zu unsymmetrischen Nutzenverteilungen $p(u)$

Mit der Umgestaltung der Gewinn- zur Nutzenverteilung verschiebt sich auch deren Erwartungswert. Im Regelfall der Risikoaversion ist der Erwartungswert des Nutzens kleiner als der in Nutzen umgerechnete Gewinn - Erwartungswert:

$$E[u(x)] < u[E(x)]$$

Über die Gestalt der Präferenz- und Nutzenfunktion wird beim Bernoulli-Prinzip zunächst nichts ausgesagt. Durch die zusätzliche Berücksichtigung einiger allgemein als rational anerkannter Verhaltensweisen wird aber ihr Bereich wesentlich eingeengt.

33 Die inverse Bernoulli-Bedingung zur Prüfung von Nutzen- und Präferenzfunktionen auf Rationalität

Oft wird die Auswahlregel $\Psi(w)$ nicht - wie bei der erläuterten Reduzierung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung auf einen repräsentativen Wert in Abb. 4 - von der gesamten Risikoverteilung w abhängig gemacht, sondern lediglich von einigen Parametern. Ein Sonderfall dieses Vorgehens ist das - auch für die praktische Anwendung (siehe Abschnitt 5) sehr geeignete - μ, σ -Prinzip, das alle Verteilungen mit gleichem Erwartungswert und gleicher Varianz als gleichwertig annimmt.

Das rational erscheinende Bernoulli-Prinzip, nach dem die Entscheidung aufgrund eines Präferenzfunktionalis gefällt wird, das gleich dem Erwartungswert einer Nutzenfunktion ist, dient oft auch dem umgekehrten Schluß: nur d a s Präferenzfunktional gilt dann als rational, das als Erwartungswert einer - dann ebenfalls rationalen - Nutzenfunktion ausgedrückt werden kann. Soll diese Bedingung ganz allgemein, d.h. für alle denkbaren Risikoverteilungen Gültigkeit haben, dann kann obige inverse Bernoulli-Bedingung nur durch völlig unplausible, aber "rationale" Nutzenfunktionen erfüllt werden. ¹⁾

"Richtet sich ein rationales Verhalten nur nach Mittelwert und Streuung der Wahrscheinlichkeitsverteilung, dann besteht die Präferenzfunktion

$$\Psi(\mu, \sigma) = a_1 \mu + a_2 \mu^2 + a_2 \sigma^2$$

und die Nutzenfunktion

$$u(x) = a_1 x + a_2 x^2 \text{ " 2) }.$$

¹⁾ Allgemein muß die "rationale" Nutzenfunktion eine lineare Funktion von Funktionen der in die Präferenzfunktion eingehenden x -Momente sein, vgl. H. Schneeweiß, a.a.O., S. 89 ff.

2) H. Schneeweiß, a.a.O., S. 96.

Daß die Präferenzfunktion der Erwartungswert der Nutzenfunktion ist, ist bei $E(x) = \mu$ und $\sigma^2 = E(x^2) - E^2(x) = E(x^2) - \mu^2$, also $E(x^2) = \mu^2 + \sigma^2$ evident, so daß die inverse Bernoulli-Bedingung für rationales Verhalten erfüllt ist. Obige Nutzenfunktion stellt eine Parabel dar, ebenso eine μ, σ -Indifferenzkurve ¹⁾:

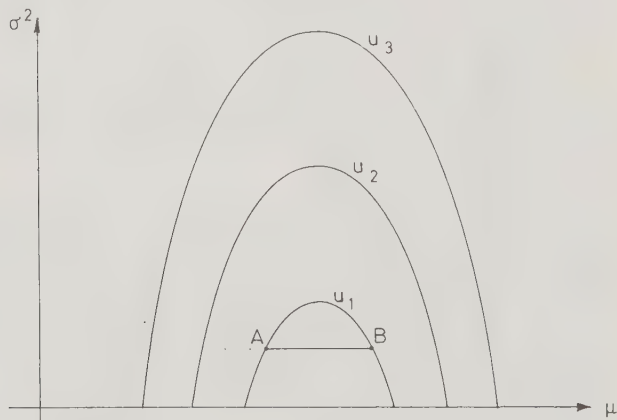


Abb. 6: Rationales (μ, σ) -Prinzip nach Schneeweiß

Aus dieser Präferenzfunktion folgt, daß es bei gleichbleibender Streuung jeweils zwei wesentlich voneinander verschiedene Gewinnerwartungen gibt (z.B. A und B in Abb. 6), die den gleichen Nutzen aufweisen. Daher "erscheint die zugehörige Nutzenfunktion (und natürlich ebenso die Präferenzfunktion) gänzlich unvernünftig" ²⁾. Der Grund liegt in der Forderung, die Präferenzfunktion müsse für alle möglichen Risikovertelungen gleich dem Erwartungswert der Nutzenfunktion sein. Diese Forderung kann nur erfüllt werden, wenn die Elemente der Nutzenfunktion in ihren Erwartungswerten gleich der Präferenzfunktion in ihrer speziellen Verknüpfung von μ und σ sind.

¹⁾ Vgl. H. Schneeweiß, a.a.O., S. 97.

²⁾ H. Schneeweiß, a.a.O., S. 98.

Am Beispiel:

$$u(x) = 20x - x^2$$

$$\text{und} \quad \Psi(\mu, \sigma) = 20\mu - \mu^2 - \sigma^2,$$

soll gezeigt werden, daß bei Befolgung des inversen Bernoulli-Prinzips jede noch so ausgefallene Risikoverteilung zu Bernoulli-rationalen Entscheidungen führt, wenn - wie oben - eine geeignete Nutzenfunktion zugrunde gelegt wird.

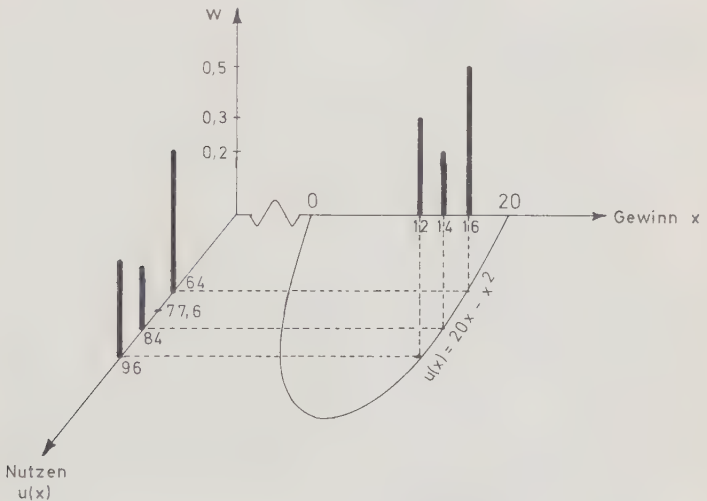


Abb. 7: Beispiel einer Bernoulli-rationalen Nutzenfunktion, die für alle denkbaren Risikoverteilungen zu erwartungstreuen μ, σ -Präferenzfunktionen führt.
 $[E(20x - x^2) = 20\mu - \mu^2 - \sigma^2]$.

Als Beispiel sei in Abb. 7 eine u-förmige Dreipunktverteilung gerade über dem Gewinnbereich angenommen, für den Bernoulli-rational (aber allgemein als unvernünftig betrachtet) steigende Gewinne mit sinkendem Nutzen verbunden sind.

Bei Wahrscheinlichkeiten von

$$w(12) = 0,3$$

$$w(14) = 0,2$$

und $w(16) = 0,5$

ergibt sich als Erwartungswert des Gewinnes

$$E(x) = \mu = 0,3 \cdot 12 + 0,2 \cdot 14 + 0,5 \cdot 16$$

$$\mu = 14,4 \quad \mu^2 = 207,36$$

=====

und als Gewinnvarianz

$$\sigma^2(x) = 0,3(12-14,4)^2 + 0,2(14-14,4)^2 + 0,5(16-14,4)^2$$

$$\sigma^2(x) = 3,04$$

=====

Die Werte für μ und σ bestimmen den Wert der Präferenzfunktion

$$\begin{aligned} \Psi(\mu, \sigma) &= 20\mu - \mu^2 - \sigma^2 \\ &= 20 \cdot 14,4 - 207,36 - 3,04 \end{aligned}$$

$$\Psi(\mu, \sigma) = 77,6$$

=====

Dieser ergibt sich aber auch unmittelbar als Erwartungswert des Nutzens der Gewinnverteilung:

$$E[u(x)] = 0,3 \cdot 96 + 0,2 \cdot 84 + 0,5 \cdot 64$$

$$E[u(x)] = 77,6$$

=====

und folglich ist:

$$E[u(x)] = \Psi(\mu, \sigma)$$

Nur eine ausgefallene und unplausible Nutzenfunktion kann also bewirken, daß bei allen ausgefallenen

- und ebenfalls unplausiblen - Risikoverteilungen das Bernoulli-Prinzip allgemeingültig erfüllt bleibt. Der Grund für dieses unbefriedigende Ergebnis liegt in der Umkehrung des Bernoulli-Prinzips, wie folgendes Beispiel veranschaulicht:

Jeder rational handelnde potentielle Mieter eines Miethauses wird sich eine Wohnung aussuchen, die für ihn den Erwartungswert des Nutzens maximiert. Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, man müsse rationalerweise ein Miethaus so bauen, daß die Erwartungen aller denkbaren Mieter berücksichtigt werden. Wie man beim Bau eines Miethauses nicht alle möglichen Mieter, sondern nur einen bestimmten - etwa einen bezüglich des Einkommens relativ homogenen - Kreis ansprechen wird, darf eine "rationale" Nutzenfunktion nicht aufgrund aller möglichen Risikoverteilungen konstruiert werden. Ein solches allgemein bestbeurteiltes Haus und eine solche allgemeingültige Nutzenfunktion kann es nicht geben. Es sei daran erinnert, daß das Bernoulli-Grundprinzip, das alle Chancen einer Risikoverteilung einzeln bewertet und vergleichbar macht, keinerlei Einschränkungen der Nutzenfunktion erfordert. In diesem Fall der Einzelbewertung der Chancen können zwar aufgrund einer beliebigen, aber vorgegebenen Nutzenfunktion alle Risikoverteilungen vergleichbar gemacht werden; eine Umkehrung, ein Rückschluß auf die Rationalität der zugrunde liegenden Nutzenfunktion ist in diesem ganz allgemeinen Fall nicht möglich.

Anders im Fall der Repräsentativbewertung von Chancen: geht in die Präferenzfunktion nicht die gesamte Risikoverteilung ein, sondern wird diese nur durch Momente repräsentiert, so legt - wie oben für den μ, σ -Fall dargestellt - die Präferenzfunktion als Erwartungswert der Nutzenfunktion diese vom Funktionstyp her weitgehend fest, wenn nach wie vor alle Risikoverteilungen zugelassen sind. Gerade hierin liegt aber die Inkonsistenz der inversen Bernoulli-Bedingung, wie sie Schneeweiß formuliert.

Es ist nicht folgerichtig, in der Präferenzfunktion

die Risikoverteilung durch einige ihrer Maßzahlen vertreten zu lassen, zugleich aber für alle Verteilungen die Gültigkeit des Bernoulli-Prinzips zu fordern. Man darf von der konkreten Form einer Risikoverteilung nicht einseitig in bezug auf die Präferenzfunktion abstrahieren, vielmehr muß eine gewisse Entsprechung vorliegen zwischen den Momenten der Risikoverteilung, die in die Präferenzfunktion eingehen, und der Verallgemeinerung der Risikoverteilung, also ihrer typmäßigen Festlegung, selbst.

Wenn ein Unternehmer seine Entscheidungen nur aufgrund des Erwartungswertes und der Streuung des Gewinnes trifft, ist es folgerichtig, von der Form der individuellen Risikoverteilung ebenfalls bis auf μ und σ zu abstrahieren; also nur solche Verteilungen zuzulassen, die durch μ und σ eindeutig festgelegt sind, etwa Gleichverteilungen oder Normalverteilungen.

Ein Unternehmer, der sich häufig ausgefallenen, z.B. stark unsymmetrischen Risikoverteilungen gegenüber sieht und der diese Verteilungen durch μ und σ nicht hinreichend repräsentiert findet, muß noch weitere Maßzahlen, etwa Schiefe und Exzeß, in der Präferenzfunktion beachten und vielleicht sogar auf die Einzelbewertung der Chancen einer Verteilung zurückgreifen. Es ist unplausibel, daß sich dann - als Folge der inversen Bernoulli-Bedingung - die Nutzenfunktion des Unternehmers ändern muß.

Bei Einzelbewertung der Chancen wirken sich Erwartungswert, Varianz, Schiefe und Exzeß über die unternehmerkonstante Nutzenfunktion in der Präferenzfunktion aus. In vielen praktischen Fällen kann aber - wiederum bei Konstanz der Nutzenfunktion - die wesentlich einfachere Repräsentativbewertung angewandt werden. Risikoverteilung und Präferenzfunktion werden dann gleichermäßen durch Maßzahlen der Risikoverteilung verallgemeinert. Aus den bis auf μ und σ standardisierten Risikoverteilungen kann - bei gegebener Nutzenfunktion - die zugehörige Präferenzfunktion eindeutig ermittelt werden, wenn der Typ der Verteilung bekannt oder festgelegt ist.

In vielen praktischen Fällen kann angenommen werden, daß die Risiken normalverteilt sind. Das gilt - infolge des zentralen Grenzwertsatzes - insbesondere dann, wenn viele Einflußgrößen unabhängig voneinander auf den Risikofall einwirken, ohne daß eine einen dominierenden Einfluß ausübt. Gerade in großen ökonometrischen Modellen wird mit einiger sachlicher Berechtigung - aber auch zur mathematischen und praktischen Vereinfachung - unterstellt, daß die wirtschaftlichen Größen normalverteilt sind. Infolgedessen ist auch die endogene Variable - bzw. die Mehrheit endogener Variabler bei kombinierten Zielsetzungen - um die Punktprognose normalverteilt. Somit liegt es nahe, bei Entscheidungen auf der Grundlage eines betriebsökonomischen Modells normalverteilte Risiken anzunehmen; auf die Einzelbewertung der Chancen zu verzichten und nur Mittelwert und Streuung in die Präferenzfunktion aufzunehmen.

Eine Bernoulli-rationale Präferenzfunktion für normalverteilte Risiken ist ¹⁾

$$\psi(\mu, \sigma) = \mu - \frac{a}{2} \sigma^2$$

Sie wird - dem Bernoulli-Prinzip entsprechend (siehe Ableitung unten) - induziert durch eine Nutzenfunktion

$$u(x) = -e^{-ax},$$

deren Erwartungswert sie - bis auf eine monotone Transformation - ist.

34 Die praktische Ermittlung einer für normalverteilte Risiken Bernoulli-rationalen Nutzenfunktion in einer Ausgleichungsrechnung

Für die praktische Anwendung auf Entscheidungen in Risikosituationen reicht die Kenntnis des Typs einer

¹⁾ In Anlehnung an H. Schneeweiß: "Entscheidungskriterien bei Risiko", S. 129 ff.

rationalen Präferenz- und Nutzenfunktion nicht aus. Entscheidend ist hier die Ermittlung der unternehmer-individuellen Parameter dieser Funktionen. Da eine Nutzenfunktion sich punktweise und nicht immer harmonisch aus der Bewertung einfacher Alternativen ergibt, muß eine Ausgleichsrechnung durchgeführt werden.

Zur Ermittlung der einzelnen u,x-Kombinationen wurde das auf S.26 f.beschriebene Verfahren angewandt: links, inmitten bzw. rechts der beiden Vergleichsgewinne A ($x_A = 0$) und B ($x_B = 3'0$) ergeben sich die u-Werte für den Gewinn x:

$$u(x) = -\frac{1-w_x}{w_x} \quad (\text{bei } X < A < B)$$

$$u(x) = w_B \quad (\text{bei } A < X < B)$$

$$u(x) = \frac{1}{w_x} \quad (\text{bei } A < B < X)$$

In allen drei Bereichen wird der mittlere Gewinn als sicher angenommen und mit den beiden Bereichsgrenzen verglichen. So wird sukzessive der Bereich der Wahrscheinlichkeiten für die Randgewinne eingengt, bis die Indifferenzwahrscheinlichkeit erreicht ist, bei der der sichere Mittelgewinn der Zweipunktverteilung als äquivalent erscheint.

Hinter der Befragung eines einzigen Mitgliedes der Leitung steht die in der neueren Organisationstheorie zu Recht stark kritisierte Fiktion der betrieblichen Entscheidungseinheit. Zwar ist es möglich, die individuellen Nutzenfunktionen aller Leitungsmitglieder zu einem gewogenen Mittel zu verdichten; in der betrieblichen Realität ist jedoch das Gewicht der Stimme eines Geschäftsführers sehr stark von dem Gebiet abhängig, auf dem eine Entscheidung getroffen werden soll. Oft ist es deshalb sinnvoller, die μ, σ -Folgen konkreter Entscheidungsalternativen aufzuzeigen und dann gemeinsam über die beste Entscheidung zu

diskutieren als von vornherein alle Nutzenvorstellungen zu mitteln und die μ, σ - Folgen unauflöslich in einer gemischten Präferenzfunktion aufgehen zu lassen.

Erschwerend wirkt bei einer Mehrpersonen-Entscheidung, daß - wie auch die empirischen Untersuchungen von Grayson jr. gezeigt haben ¹⁾ - die Risikoeinstellung der Mitglieder der Leitung oft sehr unterschiedlich ist. Auch wiederholte Befragungen gleicher Personen zu v e r s c h i e d e n e n Zeiten führen häufig zu abweichenden Ergebnissen ²⁾.

Die Instabilität von Nutzensaussagen beruht auf den zum großen Teil unkontrollierbaren psychologischen Einflußgrößen, die es schwer machen, aus der Persönlichkeit mit seinen Rhythmen und Launen den wirtschaftlich rationalen Menschen herauszufiltern. Schwierigkeiten bereitet daher auch die Befragungstechnik: direkte Fragen nach der Indifferenzwahrscheinlichkeit ergeben meist übersteigerte Risikofreudigkeit, weil der Befragte annimmt, daß man diese Eigenschaft von einem dynamischen Unternehmer erwartet. Indirekte, verdeckte Fragestellungen sind aber nur - wenn überhaupt - schwer möglich. Es ist auch fraglich, ob solche einmaligen Wettsituationen ohne die Kenntnis der mathematischen Erwartung, also rein gefühlsmäßig, beurteilt werden können. Alle Befragungen und auch die Introspektion lehren, daß bei der Frage nach der Indifferenzwahrscheinlichkeit zunächst immer die "erwartungsgerechte Wahrscheinlichkeit" errechnet wird, also die Wahrscheinlichkeit, bei der der sichere Gewinn gleich dem Erwartungswert der betreffenden Zweipunktverteilung ist.

In der zweiten Stufe wird dann die erwartungsgerechte Wahrscheinlichkeit je nach Risikoeinschätzung

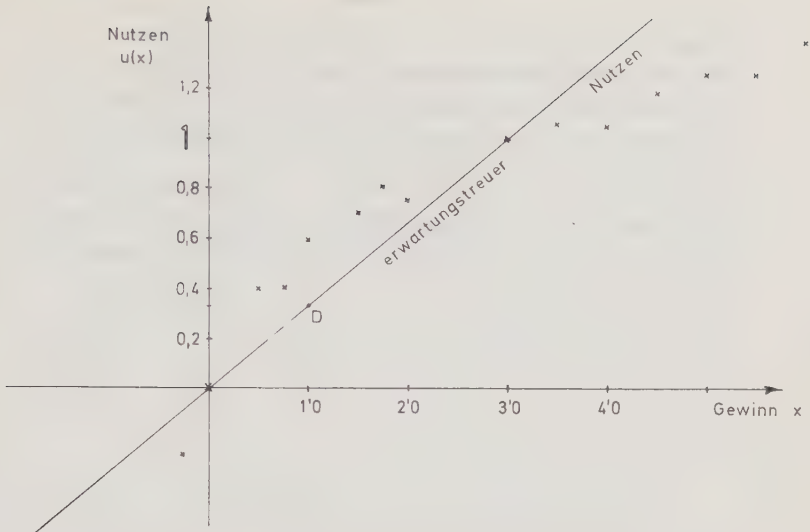
-
- ¹⁾ C.J. Grayson jr.: "Decisions Under Uncertainty. Drilling Decisions by Oil and Gas Operators", Boston 1960, S. 303 ff.
- ²⁾ C.J. Grayson, a.a.O., S. 299, graphische Darstellung auf S. 306.

modifiziert.

Ohne die Kenntnis der erwartungsgerechten Wahrscheinlichkeit kommt es zu instabilen, widersprüchlichen und völlig unplausiblen Nutzenwerten, die nach Berechnung des Erwartungswertes meist annulliert werden.

Ergebnis der Befragung eines Mitgliedes der Geschäftsleitung in einem Installationsgerätewerk sind die folgenden Indifferenzwahrscheinlichkeiten und die daraus resultierenden Gewinn-Nutzen-Kombinationen der Abb. 9:

x	w	u(x)	
1'0	w(B) = 0,6	0,6	$A < x < B:$ $u(x) = w(B)$
2'0	0,75	0,75	
'5	0,4	0,4	
1'5	0,7	0,7	
2'5	0,9	0,9	
'75	0,4	0,4	
1'75	0,8	0,8	
-1'0	w(x) = 0,5	-1,0	$x < A < B:$ $u(x) = -\frac{1-w(x)}{w(x)}$
- '5	0,6	-0,67	
- '75	0,55	-0,82	
- '25	0,8	-0,25	
-1'5	0,33	-2,0	
-1'25	0,6	-0,67	
4'0	w(x) = 0,95	1,05	$A < B < x:$ $u(x) = \frac{1}{w(x)}$
6'0	0,72	1,39	
3'5	0,95	1,05	
4'5	0,85	1,18	
5'5	0,8	1,25	
5'0	0,8	1,25	



* Abb. 8: Empirische Gewinn-Nutzen-Kombinationen eines Geschäftsleitungs-Mitgliedes in einem Werk für elektrotechnische Geräte.

Aus der Punkteschar in Abb. 8 ist unmittelbar ersichtlich, daß hier ein Fall der Risikoaversion vorliegt. Die Proportionalitätsgerade des "erwartungsgerechten Nutzens" wäre die Nutzenfunktion bei risikoneutralem Verhalten; sie ergibt sich aus den Nutzenwerten der beiden Meßpunkte A und B. Die risikoneutrale Indifferenzwahrscheinlichkeit für z.B. 1'0 Mio. DM ist $w(B) = 1/3$, da

$$1'0 = 1/3 \cdot 3'0 + 2/3 \cdot 0.$$

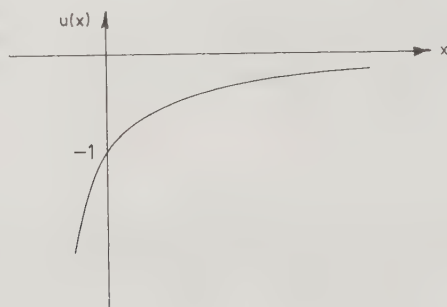
Daraus folgt, daß der risikoneutrale Nutzen von 1'0 Mio. DM $u(1'0) = 1/3$ ist (Punkt D in Abb. 8).

Im Gegensatz zur risikoneutralen, geradlinigen Nutzenfunktion ¹⁾ folgt aus den empirischen u, x -Kombinationen der Abb. 8 deutlich eine konkave Nutzenfunktion. Das heißt z.B. für den mittleren Bereich $0 < x < 3'0$: der sichere Gewinn x erscheint dem wahrscheinlichen Gewinn von 3'0 Mio. DM nicht äquivalent,

¹⁾ Hierbei wird unterstellt, daß der Güternutzen einer Mark bei allen Gewinngrößen gleich bleibt.

solange dessen Wahrscheinlichkeit nicht deutlich über der erwartungsgerechten Wahrscheinlichkeit liegt. Die höhere Wahrscheinlichkeit und damit die höhere Gewinnerwartung kompensieren subjektiv die Unsicherheit.

Die Punkteschar soll - dem Bernoulli-Prinzip für normalverteilte Risiken entsprechend - durch eine Nutzenfunktion vom Typ $u(x) = -e^{-ax}$ ausgeglichen werden:



Die Ausgleichungsrechnung mit einigen dazu erforderlichen Transformationen zeigt die folgende Tabelle und die Abb. 9.

35 Die Ableitung der der Nutzenfunktion entsprechenden rationalen Präferenzfunktion

Die Nutzenfunktion gibt den zu einem vorgegebenen Wert des Betriebsgewinnes (bzw. einer anderen betrieblichen Zielgröße oder einer Kombination mehrerer Zielgrößen) gehörenden Nutzenwert an. Die Gewinne oder sonstigen Auswirkungen verschiedener Entscheidungsalternativen können durch die Nutzenfunktion in ihrer subjektiven Bewertung quantifiziert und damit vergleichbar gemacht werden.

u_e	$u_e^+ =$ $u_e - (1 + 0,067x)$	$u_e^{++} = -u_e^+$	$\mathfrak{N}$ $\lg u_e^{++}$	x	$\mathfrak{X}$ $-0,43429 \cdot x$	$\mathfrak{X}'\mathfrak{X}$	$\mathfrak{X}''\mathfrak{X}$
0,6	-0,467	0,467	-0,33068	1,0	-0,43429	0,18861	+ 0,14361
0,75	-0,384	0,384	-0,41567	2,0	-0,86858	0,75443	0,31359
0,4	-0,6335	0,6335	-0,19825	0,5	-0,21715	0,04715	0,04305
0,7	-0,4005	0,4005	-0,3974	1,5	-0,65144	0,42437	0,25888
0,9	-0,2675	0,2675	-0,57268	2,5	-1,08573	1,17881	0,62178
0,4	-0,6503	0,6503	-0,18689	0,75	-0,32572	0,10609	0,06087
0,8	-0,3173	0,3173	-0,49853	1,75	-0,76001	0,57762	0,37889
-1,0	-1,933	1,933	0,28623	-1,0	0,43429	0,18861	0,12431
-0,67	-1,6365	1,6365	0,21392	-0,5	0,21715	0,04715	0,04645
-0,82	-1,7698	1,7698	0,24792	-0,75	0,32572	0,10609	0,08075
-0,25	-1,2333	1,2333	0,09107	-0,25	0,10857	0,01179	0,00989
-2,0	-2,8995	2,8995	0,46239	-1,5	0,65144	0,42437	0,30122
-0,67	-1,5863	1,5863	0,20038	-1,25	0,54286	0,29470	0,10878
1,05	-0,218	0,218	-0,66154	4,0	-1,73716	3,01772	1,14920
1,39	-0,012	0,012	-1,92082	6,0	-2,60574	6,78988	5,00516
1,05	-0,1845	0,1845	-0,73400	3,5	-1,52002	2,31046	1,11569
1,18	-0,1215	0,1215	-0,91542	4,5	-1,95431	3,81933	1,78901
1,25	-0,1185	0,1185	-0,92628	5,5	-2,38860	5,70541	2,21251
1,25	-0,085	0,085	-1,07058	5,0	-2,17145	4,71520	2,32471
						30,70779	16,08835

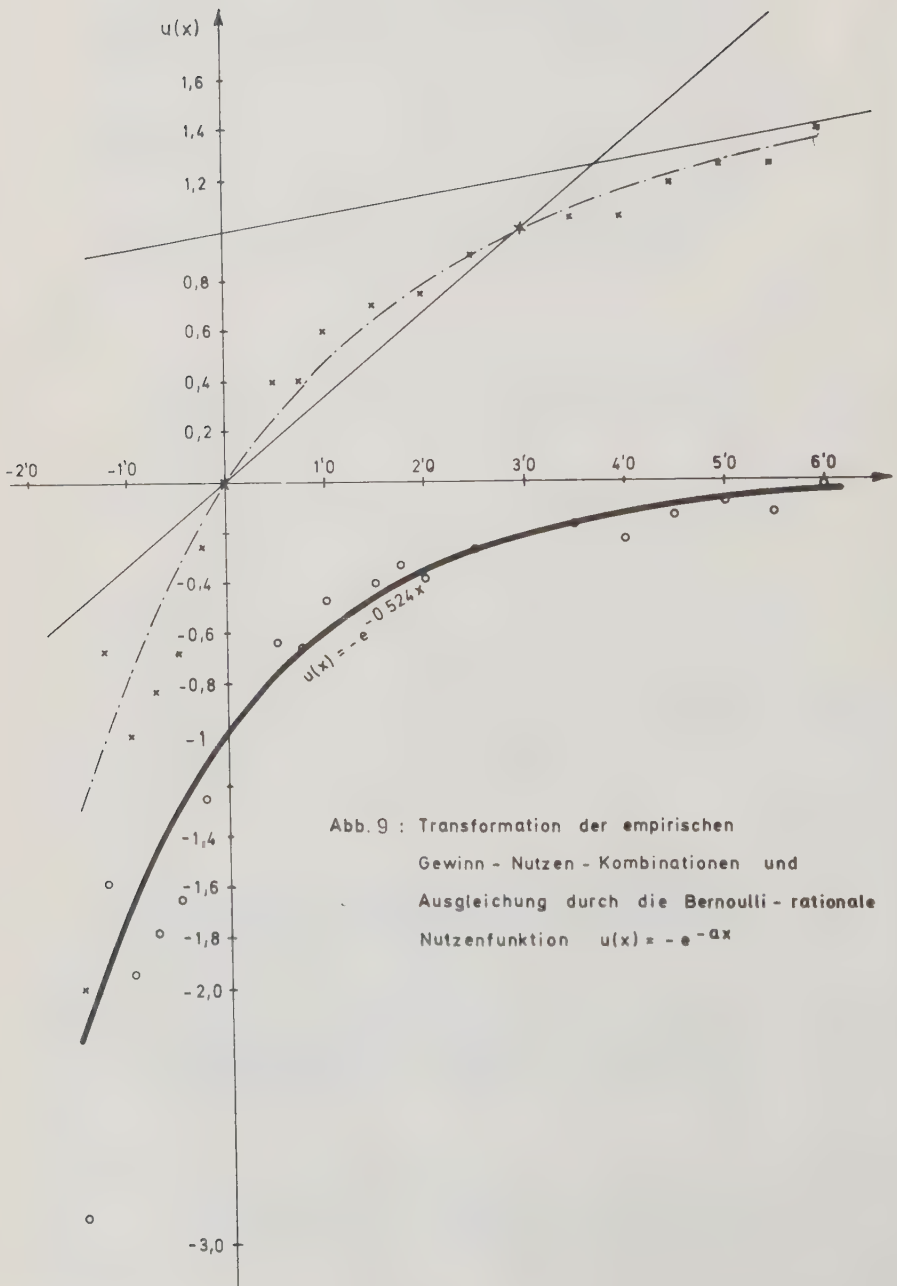


Abb. 9 : Transformation der empirischen Gewinn - Nutzen - Kombinationen und Ausgleichung durch die Bernoulli - rationale Nutzenfunktion $u(x) = -e^{-ax}$

Schwieriger ist es, wenn die Folgen einer Entscheidung nicht streng determiniert sind, sondern einer Wahrscheinlichkeitsverteilung gehorchen. Die möglichen Gewinne ("Chancen") einer diskreten Verteilung (bzw. die Klassenmitten einer stetigen Gewinnverteilung) können dann über die in Abschnitt 32 beschriebene und in Abb. 5 veranschaulichte Einzelbewertung der Chancen mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten in die entsprechende Nutzenverteilung überführt werden. Der Erwartungswert dieser Nutzenverteilung ist nach dem Bernoulli-Prinzip gleich dem Präferenzfunktional $\Psi(w)$; er stellt somit die Auswahlregel bei der Entscheidung zwischen den durchgerechneten Alternativen dar:

$$\Psi(w) = E[u(x)]$$

Bei der Repräsentativbewertung der Chancen dagegen wird - wie erwähnt - von den im einzelnen möglichen Entscheidungsfolgen abstrahiert und die gesamte Gewinnverteilung w durch Kennzahlen, meist Momente, repräsentiert.

Das bekannteste und auch für die praktische Anwendung geeignetste Verfahren der Repräsentativbewertung ist das μ - σ -Prinzip, das alle Gewinnverteilungen mit gleichem Mittelwert und gleicher Varianz, ungeachtet der konkreten Verteilungsform, ihrer Schiefe oder ihres Exzesses, als äquivalent annimmt.

Da es sich bei Risikoverteilungen, in die z. B. die künftige Marktentwicklung eingeht, oft um subjektive Wahrscheinlichkeiten handelt, sind Annahmen über höhere Momente der Verteilung, wie z.B. die Schiefe, sachlich meist nicht begründbar, so daß im Regelfall von symmetrischen Verteilungen ausgegangen werden kann. Sachlich

plausibel und statistisch auf dem zentralen Grenzwertsatz basierend ist auch die Vermutung, daß die Risikoverteilungen, die ja häufig die Folge vieler kleinerer Einflußgrößen sind, näherungsweise durch eine Normalverteilung ausgedrückt werden können.

Die Präferenzfunktion, der Erwartungswert der Nutzenfunktion, ist im Falle der Normalverteilung für das μ - σ -Prinzip:

$$\begin{aligned}\Psi(\mu, \sigma) &= E[u(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} u(x) f(x) dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} -e^{-ax} \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} dx\end{aligned}$$

Nach einigen Umformungen ergibt sich aus der Integration:

$$E[u(x)] = -e^{-a\mu + \frac{a^2}{2}\sigma^2}$$

Diese für den praktischen Gebrauch relativ unhandliche Präferenzfunktion kann durch Transformation mit einer monotonen Funktion U vereinfacht werden, ohne ihre Eigenschaft als rationale Auswahlregel bei der Entscheidungsfindung zu verlieren:

$$\begin{aligned}\Psi(\mu, \sigma) &= U\left(E[u(x)]\right) = -\frac{1}{a} \ln\left(-E[u(x)]\right) \\ &= -\frac{1}{a} \ln\left(e^{-a\mu + \frac{a^2}{2}\sigma^2}\right) \\ &= -\frac{1}{a} \left(-a\mu + \frac{a^2}{2}\sigma^2\right)\end{aligned}$$

$$\boxed{\Psi(\mu, \sigma) = U\left(E[u(x)]\right) = \mu - \frac{a}{2}\sigma^2}$$

Im konkreten Fall der durch Ausgleichung von empirischen Gewinn-Nutzen-Kombinationen ermittelten

Nutzenfunktion $u(x) = -e^{-0,524x}$ lautet also die Präferenzfunktion:

$$\Psi(\mu, \sigma) = \mu - 0,262 \sigma^2$$

=====

Abb. 10 zeigt den Verlauf der Indifferenzkurven; steigende Unsicherheit in der Gewinnerzielung (ausgedrückt durch σ^2) muß durch eine höhere Gewinnerwartung kompensiert werden, um dem Unternehmer als gleichwertig zu erscheinen.

Soll obige Präferenzfunktion zur Auswahl zwischen mehreren Entscheidungsalternativen verwendet werden, muß der Erwartungswert und die Streuung des Gesamtgewinnes für alle Alternativen errechnet werden. Dies kann methodisch einwandfrei nur auf dem Wege über ein betriebsökonomisches Prognosesystem erfolgen, dessen Hauptprobleme und Verfahren zu ihrer Bewältigung der folgende Teil behandelt.

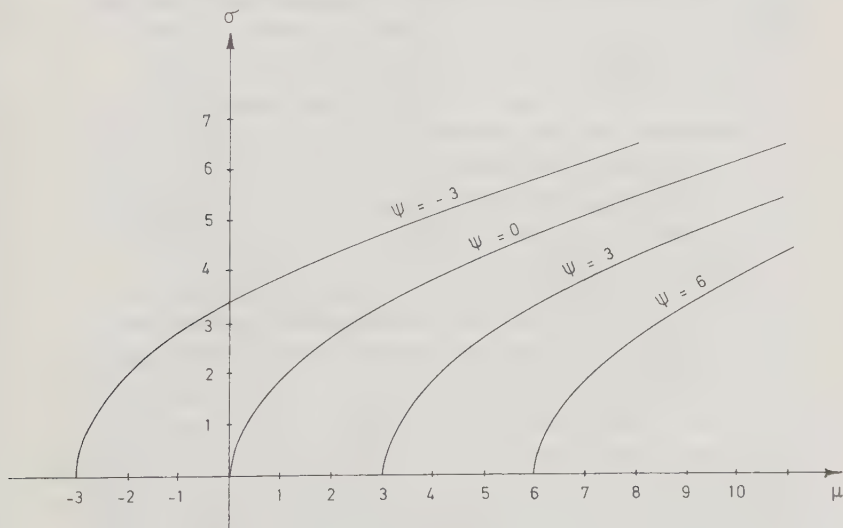


Abb. 10: Aus der Nutzenfunktion $u(x) = -e^{-0,524x}$ resultierende Präferenzfunktion $\Psi(\mu, \sigma) = \mu - 0,262 \sigma^2$.

4 Zur Methodik betriebsökonomischer Prognose
=====

In Kapitel 3 wurde dargestellt, wie Gewinnerwartung und -varianz, verknüpft in der Präferenzfunktion, die Entscheidung unter Unsicherheit bestimmen. Wichtig ist, daß die in der Natur der unternehmerischen Entscheidung liegende Unsicherheit, das unausschaltbare Risiko, nicht unnötig verstärkt wird durch die Methodik der Prognose, durch ein Prognoseverfahren, das den im Mittel zu erwartenden Gewinn verfälscht und das durch eine überhöhte Gewinnvarianz das Sachrisiko scheinbar vergrößert.

Der Wert der Prognose für die Entscheidungsfindung hängt somit davon ab, wie genau die Folgen einer Entscheidung prognostiziert werden können, wie treffsicher die Prognose ist.

Unter dem Begriff Treffsicherheit seien alle Gütekriterien einer statistischen Schätzung zusammengefaßt. Vereinfacht ausgedrückt ist von mehreren Schätzmethoden diejenige die beste, für deren Schätzwert gilt:

- ▷ ihr Erwartungswert ist der zu schätzende, aber unbekannte Wert der Grundgesamtheit (Erwartungstreue, Unverzerrtheit).
- ▷ ihre Streuung wird immer kleiner, die Schätzung umso genauer, je größer der Stichprobenumfang ist (Konsistenz).
- ▷ bei gleichem Stichprobenumfang ist ihre Streuung die kleinste, die Schätzgenauigkeit also am größten (Effizienz).
- ▷ sie schöpft alle Informationen der Stichprobe aus (Suffizienz).¹⁾

¹⁾ Zu den Eigenschaften von Schätzwerten vgl. Mood/Graybill: "Introduction to the Theory of Statistics", New York 1963, S. 167 - 178.

Im Falle von Einzelgleichungen liefert die Methode der kleinsten Quadrate¹⁾ die besten Schätzwerte für die Parameter und ermöglicht somit die treffsichersten Prognosen.

41 Der Vergleich verschiedener Schätzverfahren am Beispiel der Prognose der Hilfslöhne

In einem Betrieb der Elektroindustrie wurde versucht, für den jährlichen Anfall von Hilfslöhnen eine Prognoseformel zu finden. Eines der fünf verwendeten Verfahren - siehe Aufstellung auf der folgenden Seite -, die Kennzahl-Methode ("K-Methode") beruht nicht auf der Methode der kleinsten Quadrate; sie erfüllt keine der genannten Forderungen an einen guten Schätzwert. Bei diesem - durchaus praktizierten - Verfahren wird zwar die Abhängigkeit der Hilfslöhne von der Betriebsleistung berücksichtigt, aber derart, daß aus dem jeweiligen **V o r j a h r** eine Kennzahl gebildet wird, die das wertmäßige Verhältnis der Hilfslöhne zur Leistung ausdrückt. Dieses Verhältnis wird auch für das kommende Jahr unterstellt und auf dessen voraussichtliche Leistung angewandt. Die Kennzahlen-Methode beruht also auf einer Proportionalisierung der Hilfs-löhne; die Steigung der Proportionalitätsgeraden hängt allein von der Hilfslohn-Leistungs-Kombination **e i n e s** Jahres, des jeweiligen Vorjahres, ab. Zufälligkeiten dieses Verhältnisses werden somit in das folgende Jahr projiziert, Fixkosten in den Hilfslöhnen nicht berücksichtigt. Dennoch führt das Verfahren dank der Benutzung der jeweils aktuellsten Kennzahl zu wesentlich geringeren Prognoseverschätzungen²⁾ als eine einfache Regressionsrechnung mit der Leistung als Einflußgröße (7 % mittlere Verschätzung gegenüber 14,9 %).

1) Zur Kleinstquadratschätzung im Rahmen der Einflußgrößenrechnung ("allgemeines lineares Modell") einschließlich Intervallschätzung und Parametertests siehe J. Johnston: "Econometric methods", New York 1963, S. 106 - 135.

2) Zur Vereinfachung werden in der Aufstellung nur die mittleren absoluten Abweichungen angegeben.

y	L	Trendrechnung Y _t	K-Methode abs. Abw.	Regression einfach m.konst.Glied	Regression mit Trend	Regression mit Autoregression
4'576		4'599				
5'126	140'3	4'929		6'312	4'621	
5'134	147'2	5'259	- '244	6'373	5'112	5'334
5'752	175'9	5'589	- '383	6'626	6'054	6'040
6'178	167'8	5'919	+ '691	6'555	6'236	6'443
5'919	151'1	6'249	+ '356	6'407	6'240	6'453
5'806	131'3	6'579	+ '663	6'232	6'179	5'719
6'979	150'4	6'909	+ '328	6'401	6'923	6'074
8'119	174'3	7'239	+ '031	6'612	7'766	7'795
7'295	133'5	7'569	+ '076	6'252	7'272	7'913
7'911	142'2	7'899	+ '141	6'329	7'801	7'322
Σ=68'795 ȳ = 6'254		Σ = 3'106 Σ = 282 Σ = 445 %	Σ = 3'913 Σ = 435 Σ = 7 %	Σ = 9'300 Σ = 930 Σ = 14,9 %	Σ = 2'123 Σ = 212 Σ = 3,4 %	Σ = 3'810 Σ = 423 Σ = 6,5 %

Vergleich mehrerer Verfahren zur Prognose der Hilfslöhne

Erweitert man die Regressionsrechnung um die Autoregression, d.h. fügt man der Leistung als Einflußgröße die Hilfslohnsumme des jeweiligen Vorjahres hinzu, so werden schon bessere Ergebnisse als mit der K-Methode erzielt (6,5 % Prognoseverschätzung). Die weitaus besten Prognose-Resultate aber werden im Hilfslohn-Beispiel mit Trendrechnungen erzielt. Wird allein die Zeit als Einflußgröße betrachtet (reine Trendrechnung), verringert sich der mittlere Prognosefehler bereits auf 4,5 %, nach zusätzlicher Berücksichtigung der Leistung auf 3,4 %.

Solange es nicht gelingt, von der vordergründigen Betrachtung der Zeit als Einflußgröße zu den im Zeitablauf wirkenden Sachvariablen vorzudringen, kann sich die Prognose mit gutem Erfolg einer kombinierten Einflußgrößen-Trend-Rechnung bedienen. Sie kann z.B. mit Preistrends arbeiten, ohne die Hintergrund-Variablen Erzeugnismenge, Werbeausgaben usw. zu beachten. Optimierungsrechnungen dagegen haben solche Behelfsmöglichkeiten nicht; in ihnen können nur echte Sachzusammenhänge, in diesem Falle: Preis-Absatz-Funktionen, verwendet werden. Solange also in der Betriebsökometrie Trendrechnungen zur Prognose dienen müssen, können Optimierungsrechnungen nicht alle Sachzusammenhänge berücksichtigen, so daß die Optimierungsmodelle kein genaues Bild der betrieblichen Wirklichkeit sind.

42 Die Schätzproblematik in ökonomischen Gleichungssystemen

Zeigt sich schon bei Kostenarten wie den Hilfslöhnen, die nur etwa 5 % der Gesamtkosten ausmachten, daß durch ungeeignete Prognoseverfahren unnötigerweise wesentlich größere Vorhersageungenauigkeiten in Kauf genommen werden müssen, so vergrößert sich - trotz teilweiser Kompensation - der absolute Fehler bei der Prognose der gesamten Kosten noch erheblich. Insbesondere aber in ökonomischen Systemen mit gegenseitigen Abhängigkeiten der Variablen können sich die Streuungen derart aufschaukeln, daß das ganze Prognoseverfahren - die Konfidenzintervalle decken es auf - wirtschaftlich

unsinnig wird.

Betriebsökonometrische Modelle sind in der Regel so komplex, daß sich der einmalige hohe Aufwand bei methodisch einwandfreier Schätzung der Struktur durch gesteigerte Prognosegenauigkeit wieder bezahlt macht. Die Wahl des geeigneten Verfahrens hängt in erster Linie von der Art des Prognosemodells ab; insbesondere ist entscheidend, ob es sich um ein rekursives oder ein interdependentes System handelt.

In einer einfachen Regressionsgleichung verbleibt oft eine große Reststreuung der Zielgröße, die durch die Einflußgröße nicht erklärt werden kann. Zur Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes und damit des prognostischen Wertes werden dann meist weitere Einflußgrößen eingeführt und die Rechnung so zu einer multiplen Regression erweitert. Die Gleichung kann aber nur dann zur Prognose dienen, wenn die numerischen Werte aller Einflußgrößen bekannt sind. Ist das nicht der Fall, dann müssen die zunächst unbekannten Werte in weiteren Regressionsgleichungen ermittelt werden, wodurch ein echtes, aus mehreren Bestimmungsgleichungen bestehendes, ökonomisches System entsteht. Alle Einflußgrößen dieses Systems sind entweder numerisch vorzugeben (exogene Variable) oder im System zu ermitteln (endogene Variable).

Sind alle Gleichungen in einer bestimmten Reihenfolge nacheinander und aufeinander aufbauend zu lösen, dann liegt ein rekursives System vor.

In ihm gibt es mindestens eine Gleichung, die nur exogene Einflußgrößen enthält, deren endogene Variable also errechnet werden kann. Deren Wert geht in eine andere Gleichung ein, die im übrigen nur exogene Einflußgrößen aufweist und nun folglich auch lösbar ist. Letztlich existiert in einem rekursiven System bis zur vollständigen Lösung immer (mindestens) eine Gleichung, die lediglich exogene oder in vorangegangenen Gleichungen errechnete Einflußgrößen enthält.

Ordnet man die Gleichungen (Zeilen) eines rekursiven Systems in ihrer Lösungsreihenfolge und die Variablen (Spalten) in der Reihenfolge der endogenen Größen an, so haben die Koeffizienten des Systems die Gestalt einer Dreiecksmatrix. In der Hauptdiagonalen stehen die Koeffizienten der endogenen Variablen, also Einsen. Folglich ist, was für die Auswahl des Schätzverfahrens Bedeutung hat, die Determinante der Matrix der endogenen Variablen (die sog. Funktionaldeterminante) ebenfalls gleich Eins.

Das rekursive Lösen von Gleichungssystemen durch Lösung einzelner Gleichungen in einer bestimmten Reihenfolge wird unmöglich, wenn zur Prognose einer endogenen Variablen eine Einflußgröße herangezogen wird, die - in einer anderen Gleichung, eventuell nach mehreren Zwischengleichungen - ihrerseits von der ursprünglich zu prognostizierenden Größe abhängt. Solche wechselseitigen Abhängigkeiten treten z.B. bei allen ergebnisabhängigen Kosten auf:

Die Gewinnbeteiligung der Arbeitnehmer hängt unmittelbar vom Gewinn ab, geht aber auch in die Kosten ein und schmälert damit den Gewinn.

Bestimmte Kosten fallen nur an, wenn das Wirtschaftsergebnis sie "verkräften" kann: das Verwaltungsgebäude etwa wird dann neu angestrichen, wenn der Gewinn es zuläßt. Ebenso ist es bei den sprunghaften Kosten infolge von Investitionen, falls der Investitionsetat in Abhängigkeit vom erwarteten Wirtschaftsergebnis festgelegt wird.

Da man in betriebsökonomischen Systemen meist auf atomisierte Daten zurückgreift, treten schon wegen der geringeren Datenaggregation Interdependenzen ("Simultaninseln") seltener als in volkswirtschaftlichen Modellen auf.

Die Unterscheidung in rekursive und interdependente Systeme bezog sich bis hierher lediglich auf ihre Lösung bei bekannten Parametern. Von größerer

Bedeutung aber ist sie für die vorangehende Schätzung der Parameter selbst. Es ist naheliegend, wie bei Einzelgleichungen die direkte Methode der kleinsten Quadrate auf jede einzelne Gleichung des Systems anzuwenden; jedoch führt dieses Vorgehen u.U. zu verzerrten Schätzungen, wie folgendes betriebliche Beispiel zeigt.

Das Modell besteht aus einer Verhaltens- und einer Definitionsgleichung:

$$\text{I.} \quad \text{GK} = a_{13} + a_{12} \cdot L + u_1$$

$$\text{II.} \quad L = \text{GK} + \text{EK}$$

Die erste Gleichung dient der Prognose der Gemeinkosten (GK) in Abhängigkeit von der Betriebsleistung (L). Die voraussichtliche Leistung des Prognosejahres kann aber nicht angegeben werden, da in sie definitionsgemäß - laut Gleichung 2 - die Gemeinkosten eingehen: die Summe aus Einzelkosten (EK) und Gemeinkosten stellt die Leistung dar.

Die empirischen Daten von zehn Jahren sind auf der folgenden Seite zusammengestellt, ebenso die sich aus ihnen ergebenden und für alle Schätzungen benötigten statistischen Momente.

Die Anwendung der direkten Methode der kleinsten Quadrate führt zur Gemeinkostengleichung

$$\text{GK} = 0,4937 \cdot L + 11,518$$

Da die Leistung als Einflußgröße der Gemeinkosten selbst endogene Variable des Modells ist, muß dieses simultan gelöst, d.h. in die Prognoseform überführt werden.

Aus

$$1) \quad \text{GK} = 11,518 + 0,4937 \cdot L$$

$$2) \quad L = \text{GK} + \text{EK}$$

ergibt sich dann

$$1a) \quad \text{GK} = 22,728 + 0,975 \cdot \text{EK}$$

$$2a) \quad L = 22,728 + 1,975 \cdot \text{EK}$$

Diese Prognose führt jedoch, wie die spätere Gegenüberstellung zeigt, zu systematischen Schätzfehlern. Während bei rekursiven Systemen Kleinstquadratschätzungen zu optimalen Prognosen führen, müssen Wechselwirkungen schon bei der Parameterschätzung berücksichtigt werden: simultane Gleichungen bedingen simultane Schätzverfahren, die dem Verbund der Gleichungen, der Interdependenz ihrer Komponenten, Rechnung tragen. Ein solches Verfahren stellt die Maximum-Likelihood-Methode dar. Mit ihr können ganz allgemein die treffsichersten Prognosen erzielt werden. Rekursive Systeme mit ihren Schätzvereinfachungen sind als Spezialfälle in ihr enthalten.

Wie bei jedem Schätzverfahren ist die erste Voraussetzung, daß die Parameter überhaupt aufgrund der empirischen Daten der Modellvariablen numerisch bestimmbar (identifizierbar) sind. Eine notwendige Bedingung stellt das Abzählkriterium dar: die Gesamtzahl der aus einer Gleichung ausgeschlossenen (d.h. in ihr nicht auftretenden) Modellvariablen muß mindestens so groß sein wie die um eins verminderte Anzahl der endogenen Variablen (Gleichungen). Die plausible Erklärung für dieses Kriterium: damit eine Gleichung identifizierbar ist, muß sie durch Ausschluß genügend vieler Variabler gleichsam Raum dafür schaffen, daß die anderen $n-1$ Gleichungen sich durch mindestens je eine zusätzliche Variable von der betreffenden Gleichung unterscheiden; folglich müssen in ihr - wie in jeder anderen Gleichung - wenigstens $n-1$ Komponenten ausgeschlossen sein.

Die Maximum - Likelihood - Schätzung ist jedoch in der praktischen Anwendung sehr kompliziert. Schon bei kleineren betriebsökonomischen Modellen kann sie infolge ihrer nichtlinearen Schätzgleichungen meist nicht angewendet werden.

Da die Originalstruktur des Modells nach Schätzung der Parameter zur Prognose ohnehin in die Prognoseform überführt werden muß, bei der auf der rechten Seite

Ursprungswerte (in Mio. DM)								
GK	L	EK	GK ²	L ²	EK ²	GK · L	GK · EK	L · EK
66,9	114,6	47,7	4.475,61	13.133,16	2.275,29	7.666,74	3.191,13	5.466,42
69,4	118,7	49,3	4.816,36	14.089,69	2.430,49	8.237,78	3.421,42	5.851,91
76,0	135,9	59,9	5.776,--	18.468,81	3.588,01	10.328,40	4.552,40	8.140,41
77,8	136,7	58,9	6.052,84	18.686,89	3.469,21	10.635,26	4.582,42	8.051,63
77,6	132,7	55,1	6.021,76	17.609,29	3.036,01	10.297,52	4.275,76	7.311,77
69,7	119,4	49,7	4.858,09	14.256,36	2.470,09	8.322,18	3.464,09	5.934,18
76,9	135,0	58,1	5.913,61	18.225,--	3.375,61	10.381,50	4.467,89	7.843,50
87,6	158,2	70,6	7.673,76	25.027,24	4.984,36	13.858,32	6.184,56	11.168,92
82,3	135,1	52,8	6.773,29	18.252,01	2.787,84	11.118,73	4.345,44	7.133,28
83,7	135,8	52,1	7.005,69	18.441,64	2.714,41	11.366,46	4.360,77	7.075,18
767,9	1.322,1	554,2	59.367,01	176.190,09	31.131,32	102.212,89	42.845,88	73.977,20
$m_{GK,1}$	$m_{L,1}$	$m_{EK,1}$	$m_{GK,GK}$	$m_{L,L}$	$m_{EK,EK}$	$m_{GK,L}$	$m_{GK,EK}$	$m_{L,EK}$
$\langle GK \rangle$	$\langle L \rangle$	$\langle EK \rangle$	$\langle GK \rangle \langle GK \rangle$	$\langle L \rangle \langle L \rangle$	$\langle EK \rangle \langle EK \rangle$	$\langle GK \rangle \langle L \rangle$	$\langle GK \rangle \langle EK \rangle$	$\langle L \rangle \langle EK \rangle$

Ökonometrische Ursprungsdaten und statistische Momente

ausschließlich vorherbestimmte Variable auftreten ("reduzierte Form"), liegt es nahe,

- ▷ erst die reduzierte Form zu bilden und
- ▷ dann die Parameter der reduzierten Form nach der Methode der kleinsten Quadrate zu bestimmen.

Die reduzierte Form lautet im obigen Beispiel entsprechend 1a und 2a:

$$1b) \quad GK = b_{11} + b_{12} \cdot EK$$

$$2b) \quad L = b_{21} + b_{22} \cdot EK$$

Nach Vornahme der beiden Kleinstquadratschätzungen lauten die Prognosegleichungen:

$$1c) \quad GK = 38,451 + 0,6918 \cdot EK$$

$$2c) \quad L = 38,451 + 1,6918 \cdot EK$$

Die Übereinstimmung bzw. Ähnlichkeit zwischen den Parametern der beiden reduzierten Gleichungen ist sachlich einleuchtend: mit jeder Mark an Einzelkosten steigt die Leistung um 1 DM stärker als die Gemeinkosten anwachsen, da die EK - Mark selbst wieder in die Leistung eingeht.

Um die Schätzung der indirekten Methode der kleinsten Quadrate mit der direkten Methode (1 und 2) vergleichen zu können, werden die Parameter der reduzierten Form (1c und 2c) wieder in die Originalstruktur überführt¹⁾; die Rückrechnung ergibt:

$$1d) \quad GK = 22,728 + 0,4089 \cdot L$$

$$2d) \quad L = \quad GK \quad + \quad EK$$

Den Unterschied zu den direkten Kleinstquadratschätzungen (1 und 2) stellt die Abb. 11 dar. Die indirekte Methode der kleinsten Quadrate berücksichtigt bei der Überführung in die reduzierte Form alle Wechselwirkungen zwischen den endogenen Variablen und vermeidet somit ²⁾ den Fehler der direkten Schätzung.

¹⁾ Diese Rückübersetzung ist nur im hier vorliegenden Falle der exakten Identifikation möglich, siehe unten.

²⁾ wie die zu gleichen Ergebnissen führende Maximum - Likelihood - Methode.

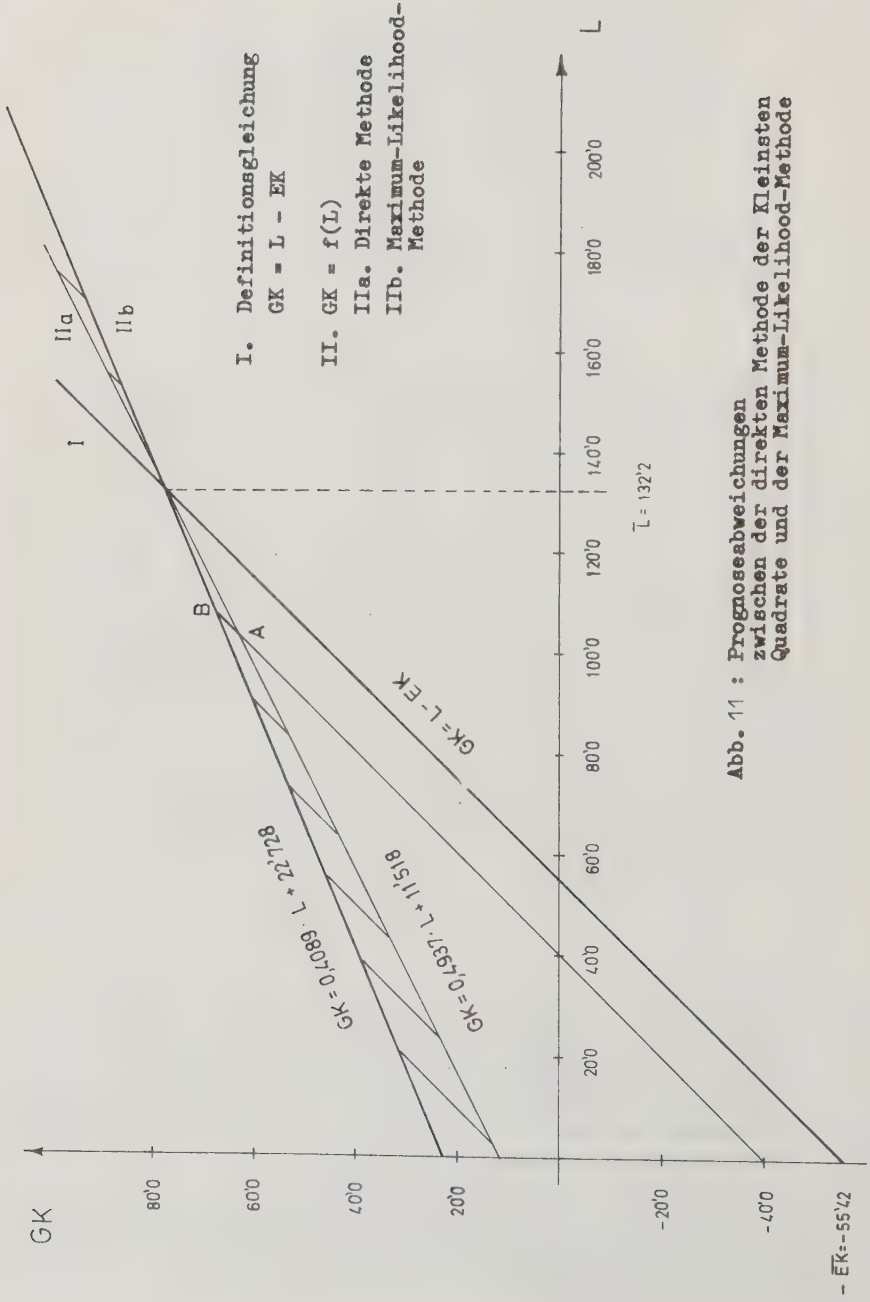


Abb. 11 : Prognoseabweichungen
 zwischen der direkten Methode der Kleinsten
 Quadrate und der Maximum-Likelihood-Methode

Die direkte Methode ist nur dann exakt anwendbar, wenn alle Einflußgrößen einer Regressionsgleichung exogener Natur sind oder es - wie bei rekursiven Modellen - werden, bevor die betreffende Gleichung erreicht ist.

Damit unterstellt die direkte Methode z.B. in der ersten Strukturgleichung - $GK = a_{12} \cdot L + a_{13}$ -, daß zwar die Gemeinkosten von der Leistung abhängen, diese aber von den Gemeinkosten nicht beeinflußt wird. Bei einer bestimmten Leistung ergibt sich anhand der Regressionsgeraden ein Schätzwert für die Gemeinkosten. Ist das Bestimmtheitsmaß nicht gleich eins, so tritt eine Reststreuung auf; sie bewirkt, daß sich bei gleichbleibender Leistung ein - senkrechtes - Schätzintervall für die Gemeinkosten ergibt. In diesem Bereich können die Gemeinkosten - z.B. mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % - schwanken, ohne dadurch wiederum eine Leistungsveränderung hervorzurufen. Diese Annahme verstößt aber gegen die zweite Strukturgleichung, $L = GK + EK$. Hiernach bewirkt eine GK-Schwankung aus Gleichung 1 eine gleich hohe Schwankung in der Leistung (Gleichung 2), da die Gemeinkosten definitionsgemäß Bestandteil der Leistung sind. Zufallsschwankungen der Gemeinkosten um den Regressionswert bewirken eine Änderung der Leistung, die an sich wiederum eine Anpassung des GK-Schätzwertes aufgrund der Gleichung 1 erfordert usw.

Die Verzerrung durch die Anwendung der direkten Methode der kleinsten Quadrate wird am besten deutlich, wenn man die simultane Prognose von GK und L grafisch veranschaulicht (Abb. 11). Die beiden Strukturgleichungen werden durch je eine Gerade dargestellt; ihr Schnittpunkt ist die Kombination der Prognosewerte für GK und L.

Die Definitionsgleichung $L = GK + EK$ (I) ist für beide Schätzmethoden gleich. Mit variierenden EK bildet sie eine Parallelenschar; in Abb. 11 ist nur die Gerade bei durchschnittlichen Einzelkosten ($EK = 55,42$) dargestellt.

Die GK-Verhaltensgleichungen $GK = a_{12} \cdot L + a_{13}$ beider Schätzmethoden weichen voneinander ab; die Gerade nach

der Methode der kleinsten Quadrate (IIa) hat einen stärkeren Anstieg als die exakte Maximum - Likelihood - Methode (IIb).

Prognosekombinationen erhält man, indem man die Definitionsgerade (I) bis zum jeweiligen EK-Wert (auf der L-Achse) verschiebt und den Schnittpunkt mit der jeweiligen GK-Geraden (IIa oder IIb) ermittelt.

Bei durchschnittlichem EK ist die GK-L-Prognosekombination beider Verfahren die gleiche. Die Abweichungen zwischen den "direkten" und den "interdependenten" Prognosewerten für GK und L werden immer größer, je mehr sich die EK vom Mittelwert entfernen.

Aufgrund unterdurchschnittlicher Einzelkosten schätzt die direkte Methode der kleinsten Quadrate die Leistung und die Gemeinkosten systematisch zu niedrig, umgekehrt bei hohen Einzelkosten.

Z.B. bei 40 Mio. Einzelkosten ($EK = 40,0$) ergeben sich als Prognosewerte:

	GK	L	
Direkte Kleinstquadratschätzung	61'8	101'8	(A in Abb. 11)
Maximum-Likelihood-Schätzung	66'1	106'1	(B in Abb. 11)

Einen systematischen Prognosefehler von 4,3 Mio DM bei zwei wirtschaftlichen Schlüsselgrößen zu vermeiden, die in das gesamte ökonomische System ausstrahlen, ist einen methodenbedingten Mehraufwand bei der Schätzung schon wert.

Eine eindeutige Rücküberführung in die Originalstruktur ist allerdings nur bei exakter Identifikation möglich, bei überidentifizierten Systemen, d.h. bei "unnötig" vielen ausgeschlossenen Variablen, kann die indirekte Methode der kleinsten Quadrate nicht eingesetzt werden.

43 Die Schätzung der reduzierten Form als zweckmäßigste Methode für betriebsökonometrische Prognosen

Die Schätzung der reduzierten Form ist der erste Teil der indirekten Methode der kleinsten Quadrate. Der zweite, die Überführung der reduzierten in die Originalstruktur, ist infolge Überidentifikation oft nicht möglich. Liegt der Hauptzweck eines ökonomischen Modells in der *P r o g n o s e* der endogenen Größen, dann erhebt sich die Frage, "ob man sich bei den Schätzungen nicht mit der reduzierten Form ... begnügen könne".¹⁾ Auch Gülicher betont die Vorhersage: "Der Ökonom, der eine ökonomische Theorie empirisch prüfen will, wird stets versuchen, die originären Gleichungen zu verifizieren, um die Verflechtung zwischen den endogenen Variablen zu erhalten. Der an praktischen Anwendungen des Modells interessierte Ökonom, dem es in erster Linie darauf ankommt, wie die prädeteterminierten Variablen die endogenen beeinflussen, wird sich häufig mit der reduzierten Form begnügen. Ob daraus die originären Gleichungen bestimmt werden können, interessiert ihn nur am Rande".²⁾

Da die Maximum - Likelihood - Methode für die praktische betriebliche Anwendung zu kompliziert ist und die Voraussetzung der indirekten Methode der kleinsten Quadrate, nämlich die exakte Identifizierbarkeit, in den seltensten Fällen gegeben sein wird, liegt es nahe, auf die Ableitung der Originalstruktur zu verzichten und lediglich mit der reduzierten Form zu arbeiten. Dieses Verfahren ist wesentlich einfacher als die Maximum - Likelihood - Methode, und sie führt zu annähernd gleich guten Prognoseresultaten.

Auch dem praktischen Beispiel in Kapitel 5 liegt eine Schätzung der reduzierten Form zugrunde.

¹⁾ K. Grenzdörffer: "Vergleich einiger in der Ökonometrie verwendeter Schätzverfahren mittels Simulation von Dreigleichungssystemen", hrsg. v. H. Münzner und W. Wetzel, Würzburg 1969, S. 92.

²⁾ H. Gülicher: "Ein einfaches ökonometrisches Deziisionsmodell zur Beurteilung der quantitativen Auswirkungen einiger wirtschaftspolitischer Maßnahmen für die Bundesrepublik Deutschland", Köln und Opladen 1961, S. 60.

5 Ein Beispiel eines betriebsökonomischen Prognose-
systems in einem elektrotechnischen Werk für Installa-
tionsgeräte; seine Verwendung als Entscheidungshilfe
auf der Grundlage des μ, σ -Prinzips

51 Beschreibung des originären Modells und seine
Überführung in die reduzierte Form

Einen für praktische Anwendungen brauchbaren Ansatz eines betriebsökonomischen Modells, das seine letzte Einflußgröße - der Abb. 1 und ihren Erläuterungen entsprechend - im **S t ü c k z a h l e n** -vektor des Betriebes hat, zeigt das folgende aus elf Gleichungen bestehende System. Es soll die möglichst genaue Vorhersage des Fertigungsergebnisses und seiner Komponenten ermöglichen.

In den ganzen Betrieb umfassenden Modellen tritt lediglich an die Stelle von zwei Produkten eine Vielzahl von Erzeugnissen mit all ihren Marktabhängigkeiten; zu jedem Erzeugnis gehören Stückliste und Arbeitsplan, die je Stück den Verbrauch an Materialien und Fertigungszeiten angeben, getrennt nach Tausenden von Materialpositionen und Hunderten von Arbeitsplätzen. Wie der Materialverbrauch und die Löhne werden üblicherweise auch die Gemeinkosten in vielerlei Arten unterschieden. Diese Verfeinerungen sind aber ein rein quantitatives und - meist in Zusammenhang mit der elektronischen Datenverarbeitung - ein organisatorisches Problem; der wirtschaftliche Kern, die ökonometrische Grundstruktur, wird davon nicht berührt.

Auf den **R e c h e n u m f a n g** wirkt sich die größere Erzeugniszahl fast ausschließlich in einer entsprechenden Vermehrung der Preis-Absatz-Funktionen ¹⁾ aus. Alle anderen Gleichungen arbeiten mit stark verdichteten Größen ²⁾, auf die die Anzahl der

¹⁾ Gleichungen 6 und 7, s. S. 65.

²⁾ lediglich evtl. nach wenigen Kostenträgergruppen differenziert, siehe Abschnitt 54.

Produkte rechnerisch nur einen sehr geringen Einfluß (reine Vektormultiplikationen) ausübt.

Bei den zwei Produkten des Installationsgerätewerkes handelt es sich um ein Erzeugnis der Hausinstallation, einen Sicherungsautomaten, und eines der Kfz-Installation, einen Fahrzeugleitungssatz ("Kabelbaum"), der die Stromzufuhr zu allen Stromverbrauchern in einem Kraftfahrzeug übernimmt.

Das Herauslösen zweier Produkte und ihr Einbau in ein Prognosesystem ist nur dann zulässig, wenn diese Produkte innerbetrieblich und in bezug auf ihre Marktabhängigkeiten vom restlichen Fabrikationsspektrum isolierbar sind. Einmal aber ist eine genaue Ermittlung der durch beide Produkte verursachten Gemeinkosten-summe oft nicht möglich. Zum anderen wird hierdurch die Wechselwirkung mit den anderen Produktionsgebieten, z.B. die gemeinsame Beanspruchung der Kapazitäten in der Vorfertigung, vernachlässigt. Aus diesen Gründen ist letztlich nur ein auf alle Produkte ausgedehntes, eventuell auf repräsentative Vertreter aller Fabrikategruppen reduziertes Prognosesystem anzustreben.

Weiterungen des Modells (z.B. durch sprungfixe Kosten bei Kapazitätserweiterungen, durch typenspezifische Entwicklungskosten usw.), wie sie für die Deckungsbeitragsrechnung als entscheidungsorientiertem Rechnungswesen erforderlich sind, werden anschließend im Abschnitt 54 behandelt.

Die folgenden Seiten zeigen das Gleichungssystem, die Verknüpfung der Größen im Flußdiagramm sowie die Umformung in Matrizendarstellung und in die reduzierte Form.

Es zeigt sich, daß die Gleichungen 1 und 4 eine Simultaninsel bilden, was auch aus der Determinanten $1-a_0$ hervorgeht.

I. Das Gleichungssystem ¹⁾

- 1) $L = M + LO + GK_g$
- 2) $M = m_1 x_1 + m_2 x_2$
- 3) $LO = l_1 x_1 + l_2 x_2$
- 4) $GK_g = a_0 \cdot L$
- 5) $E = x_1 P_1 + x_2 P_2$
- 6) $P_1 = a_4 x_1 + a_3$
- 7) $P_2 = a_6 x_2 + a_5$
- 8) $GK_a = a_1 + a_2 \cdot L$ ²⁾
- 9) $GKU = GK_g - GK_a$
- 10) $KE = E - L$
- 11) $G = KE + GKU$

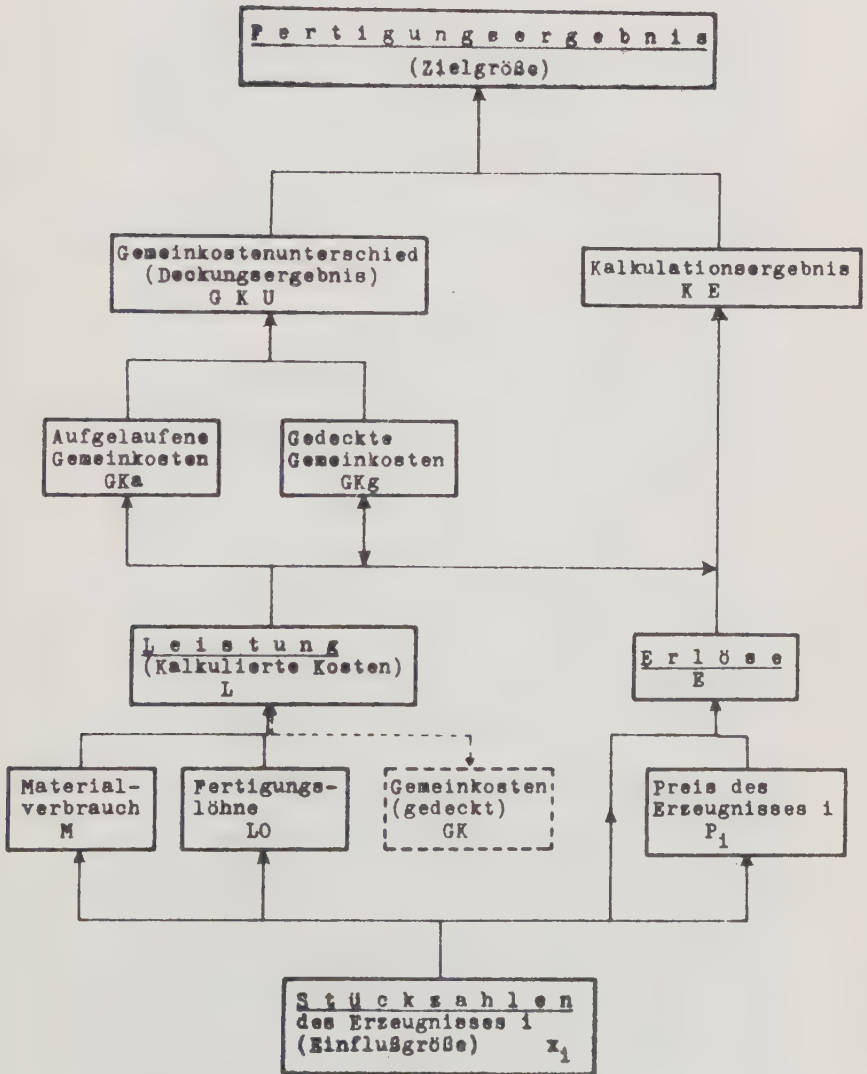
Symbolerläuterungen

- L = Leistung zu kalkulierten Kosten
- M = Materialverbrauch
- m_i = Materialverbrauch in DM je Stück des Erzeugnisses i
- LO = Lohn (Fertigungslöhne)
- l_i = Lohn je Stück des Erzeugnisses i
- GK_g = Gemeinkosten, gedeckte
- E = Erlös
- P_i = Preis des Erzeugnisses i
- X_i = Menge des Erzeugnisses i
- GKU = Gemeinkostenunterschied (Deckungsergebnis)
- KE = Kalkulationsergebnis
- G = Gewinn (Fertigungsergebnis)

¹⁾ ohne latente Variable.

²⁾ In zeiten starker wirtschaftlicher Expansion wird es zweckmäßig sein, den Trendeinfluß auf die GK_a zu eliminieren (s. Abschnitt 62).

II. Betriebsökonomisches Flußdiagramm



Zur betriebswirtschaftlichen Erläuterung des Prognose-systems muß kurz auf die Grundzüge des Rechnungswesens eingegangen werden, auf dem es basiert.

Für die Kalkulation ergeben sich

▷ der Materialverbrauch (m_i) und die Fertigungslöhne (l_i) je Erzeugniseinheit direkt aus den Konstruktions-Stücklisten und den Fertigungsplänen. Durch Multiplikation mit den zugehörigen Erzeugnisstückzahlen x_i wird - entsprechend den Gleichungen 2 und 3 - die Jahressumme des Materialverbrauches (M) bzw. der Fertigungslöhne (LO) ermittelt.

▷ die Gemeinkosten, differenziert nach

Materialbereich	(in % vom Materialverbrauch)
Fertigungsbereich	(in Pfg. je Minute pro Arbeitsplatz)
Entwicklungsbereich	} (in % von den Herstellkosten)
Verwaltungsbereich	
Vertriebsbereich	

Die gedeckten (kalkulierten) Gemeinkosten je Stück sind somit summiert über alle Kalkulationsbereiche ein fester Betrag je Erzeugniseinheit, der - über den Stückzahlenvektor - zur Summe der gedeckten Gemeinkosten (GKg) führt. Folglich sind die kalkulatorisch gedeckten Gemeinkosten proportional der jeweiligen Erzeugnisstückzahl, der Leistung. Zur Vereinfachung wurden im Prognosesystem die gedeckten Gemeinkosten nicht aus den Einzelerzeugnissen, sondern aus der gesamten Betriebsleistung (L) - in proportionaler Abhängigkeit - errechnet.

Da die Stückzahlen verschiedener Erzeugnisse nicht einfach addiert werden können, dienen die kalkulierten Stückkosten (K_i) zur Gewichtung der Er-

zeugnisse in der Gesamtleistung, so daß

$$L = M + LO + GKg$$

Aus den kalkulierten Stückkosten (Einzel- und Gemeinkosten) errechnet sich als Differenz zum jeweiligen Verkaufspreis für jedes Erzeugnis das sogenannte Kalkulationsergebnis (KE) je Stück:

$$KE_i = P_i - K_i$$

Das Kalkulationsergebnis ist das Ergebnis, das bei Absatz einer Erzeugniseinheit entsteht, wenn die Prämissen, unter denen die Kalkulationszuschlagssätze ermittelt wurden, auch gegenwärtig noch erfüllt sind. Zu diesen Prämissen zählt in erster Linie die Annahme einer "Normalbeschäftigung" des Betriebes oder seiner Teile. Von der Normalleistung, von der Auslastung des Betriebes, hängt wesentlich die Höhe der kalkulatorischen Zuschlagssätze ab, da sich die Fixkosten bei hoher Leistung erheblich günstiger auf die breite Basis verteilen.

Wird die Normalleistung über- oder unterschritten, so tritt als Beschäftigungsabweichung der "Gemeinkostenunterschied" (GKU), eine Differenz zwischen kalkulierten (gedeckten) und aufgelaufenen Gemeinkosten, auf:

$$GKU = GKg - GKa$$

Die aufgelaufenen Gemeinkosten (GKa) können ihrer Natur nach, als verbundene, für viele Produkte gemeinsam anfallende Kosten, nicht direkt einzelnen Erzeugnissen zugerechnet werden. Zur Ermittlung der Kalkulationszuschlagssätze muß man dennoch in größeren Zeitabständen (einem oder mehreren Jahren) über die Schlüsselung auf Kostenstellen und die Inanspruchnahme der Kostenstellen durch die Produkte eine - wegen der Aufteilung verbundener Kosten immer etwas strittige - Produktzuordnung aller Kosten vornehmen.

Als Haupteinflußgröße der aufgelaufenen Kosten wurde schon in der traditionellen Betriebswirtschaftslehre

die Ausbringung des Betriebes betrachtet.

Für Teile der aufgelaufenen Kosten sind zwar Einflußgrößen mit einer noch engeren sachlichen Beziehung denkbar, z.B. weisen die Energiekosten meist einen guten Gleichlauf mit den Fertigungslöhnen auf, weil beide direkt von der Fertigungszeit abhängen. Die Prognose der aufgelaufenen Gemeinkosten aufgrund der Gesamtleistung - und nicht einzelner Leistungsbestandteile wie der Löhne - ist aber einfacher und hat zudem ihre sachliche Rechtfertigung in den stark multikollinearen Beziehungen zwischen den Komponenten der Leistung (nach Gleichung 1), etwa der hohen Korrelation zwischen den Fertigungslöhnen LO und den gedeckten Gemeinkosten GKg.

Zur Erhöhung der Genauigkeit in der Kostenprognose ist dagegen zu empfehlen, eine Aufteilung der Gesamtleistung nach Fabrikategruppen vorzunehmen und die zugehörigen Gemeinkosten gesondert zu prognostizieren ¹⁾.

Auch für den Gemeinkostenauflauf gilt, daß eine lineare Ausgleichung der empirischen Kosten-Leistungs-Kombinationen, zumindest im aktuellen Schwankungsbereich, völlig ausreicht:

$$GKa = a_1 + a_2 \cdot L$$

Durch diese Ausgleichung wird zugleich die Aufteilung der Kosten in einen fixen (a_1) und einen variablen Teil ($a_2 \cdot L$) vorgenommen.

Die Beibehaltung der Kalkulationszuschlagssätze über einen längeren Zeitraum führt - wegen der Änderung der Kosten und infolge der Abweichung von der Normalleistung - früher oder später zu nicht mehr tragbaren Unter- oder Überdeckungen der Gemeinkosten. Der Gemeinkostenunterschied GKU ist damit - ausgewiesen für den Gesamtbetrieb oder für größere Teilbereiche - ein bedeutsamer Hinweis auf die Notwendigkeit einer Neuberechnung der Kalkulationszuschlagssätze. Insbesondere die Preiskalkulation, aber auch der Zeitver-

¹⁾ Siehe Punkt 54.

gleich und der zwischenbetriebliche Kostenvergleich werden durch große Gemeinkostenunterschiede weitgehend entwertet.

Während der Gültigkeitsdauer der Kalkulationszuschlagsätze werden die einzelnen Erzeugnisse anhand ihres Kalkulationsergebnisses KE ¹⁾ beurteilt, während in der Periodenrechnung für größere betriebliche Teilbereiche oder lediglich für den Gesamtbetrieb das Deckungsergebnis ermittelt wird. In der Jahresergebnisrechnung setzt sich somit der Gewinn aus den gesamten Kalkulationsergebnissen und dem Deckungsergebnis zusammen:

$$G = KE + GKU.$$

Die Prognose des Gewinnes wird durch die Höhe der gedeckten Gemeinkosten nicht berührt, wie folgende Einsetzungen der Definitionsgleichungen in die Gewinn-gleichung zeigen:

$$\begin{aligned} G &= KE + GKU \\ G &= E - L + GKg - GKa \\ G &= E - (M + LO + GKg) + GKg - GKa \\ G &= E - M - LO - GKg + GKg - GKa \\ G &= E - M - LO - GKa \\ &===== \end{aligned}$$

Die gedeckten Gemeinkosten sind also ergebnisneutral. Sie bewirken lediglich eine Aufteilung, eine Analyse des Ergebnisses, die aber in kalkulatorischer und preispolitischer Hinsicht wesentliche Informationen liefert.

Abb. 12 verdeutlicht - zur Veranschaulichung auf ein Produkt reduziert - die Ergebnisneutralität der gedeckten Gemeinkosten: geänderte GK-Kalkulationssätze (Änderung von α) führen lediglich zu einer anderen Aufteilung von G in KE und GKU.

¹⁾ und aufgrund des aus dem Prognosesystem ebenfalls ableitbaren Deckungsbeitrages, siehe unten und Punkt 54.

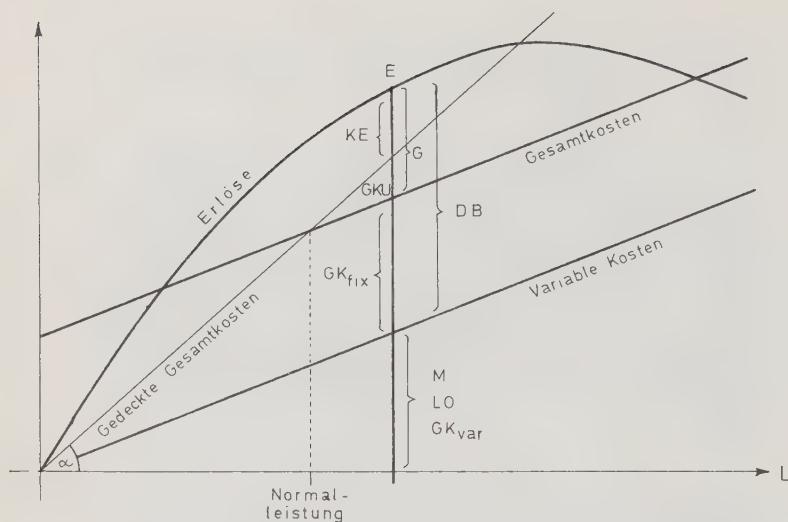


Abb. 12: Gewinnkomponenten des Prognosesystems

Für reine Prognosezwecke könnte das Gleichungssystem also folgendermaßen reduziert werden ¹⁾:

- 1) $L = b_0(m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$
- 2) $M = m_1x_1 + m_2x_2$
- 3) $LO = l_1x_1 + l_2x_2$
- 4) GKg-Prognose entfällt
- 5) $E = x_1P_1 + x_2P_2$
- 6) $P_1 = b_3 + b_4x_1$
- 7) $P_2 = b_5 + b_6x_2$
- 8) $GKa = b_1 + b_2(m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$ ²⁾
- 9) } Ergebnisaufteilung entfällt
- 10) }
- 11) $G = E - M - LO - GK_a$
=====

¹⁾ Nachdem in der ersten Gleichung GKg durch Verwendung von Gleichung 4 eliminiert wurde (vgl. unten die reduzierte Form).

²⁾ Siehe reduzierte Form unten.

Für das Ergebnis sind also allein die aufgelaufenen Gemeinkosten relevant ¹⁾ ²⁾.

Da die Regressionsrechnung die aufgelaufenen Gemeinkosten in einen fixen und einen variablen Teil aufspaltet, kann obige Gewinngleichung im Sinne der Deckungsbeitragsrechnung umgeformt werden:

$$\text{Bei} \quad \text{GKa} = \text{GK}_{\text{var}} + \text{GK}_{\text{fix}}$$

ergeben sich die variablen Gesamtkosten K_{var} zu

$$K_{\text{var}} = M + LO + \text{GK}_{\text{var}},$$

der Deckungsbeitrag DB zu

$$DB = E - K_{\text{var}}$$

und schließlich der Gewinn

$$G = DB - \text{GK}_{\text{fix}}$$

=====

Die Deckungsbeitragsrechnung ist nicht nur die Grundlage aller Programmoptimierungen, sie ist auch die kürzeste und einfachste Form der Ergebnisprognose. Insbesondere bei einem komplexen Modell, wie es in Abschnitt 54 dargestellt wird, ist eine auf der Deckungsbeitragsrechnung basierende Prognose sehr zweckmäßig. Die Ermittlung der gedeckten Gemeinkosten und die Ableitung entsprechender Maßnahmen der Geschäftsleitung sind dann Gegenstand einer gesonderten Rechnung.

Zuvor soll jedoch die Prognose unter Einschluß der gedeckten Gemeinkosten fortgeführt werden.

1) Mittelbar beeinflussen auch die gedeckten Gemeinkosten das Ergebnis, z.B. wenn eine GK-Unterdeckung die Geschäftsleitung zu Preisanhebungen veranlaßt.

2) Verschätzungen der gedeckten Gemeinkosten in Gleichung 4 führen jedoch aufgrund der Gleichung 1 zu einem gleich großen Prognosefehler für die Leistung, der über die aufgelaufenen Gemeinkosten (Gleichung 8) auch eine Fehlprognose des Gewinnes (Gleichung 11) bewirkt. Systematische - d.h. nicht nur zufällige - Verschätzungen können nur durch die Anwendung von Schätzverfahren verhindert werden, die die Simultanität des Gleichungssystems berücksichtigen.

III. Umformung des Gleichungssystems in Matrizendarstellung

	L	M	LO	GK _g	E	P ₁	P ₂	GK _a	GKU	KE	G	exogen x ₁ x ₂ 1	IDENTI- FIKATION m ₀₀ = nΔ ⁻¹
1	L	-M	-LO	-GK _g									
2		M										-m ₁ x ₁ -m ₂ x ₂	
3			LO									-l ₁ x ₁ -l ₂ x ₂	
4	-a ₀ L			GK _g									3 > 1
5					E	-x ₁ P ₁	-x ₂ P ₂						
6						P ₁						-a ₄ x ₁ -a ₃	1 > 0
7							P ₂					-a ₆ x ₂ -a ₅	1 > 0
8	-a ₂ L							GK _a				-a ₁	1 > 0
9				-GK _g				GK _a	GKU				
10	L			-E						KE			
11								-GKU	-KE	G			

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ -a_0 & & & 1 \\ & & 1 & -x_1 & -x_2 \\ & & & 1 & \\ & & & & 1 \\ -a_2 & & & & & 1 \\ & & -1 & & & & 1 \\ 1 & & & -1 & & & & 1 \\ & & & & & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathcal{B}} \quad \underbrace{\begin{pmatrix} -m_1 & -m_2 \\ -l_1 & -l_2 \\ & -a_4 & -a_3 \\ & & -a_6 & -a_5 \\ & & & -a_1 \end{pmatrix}}_{\mathcal{C}}$$

$$\mathcal{B} \cdot \mathcal{C} = \mathcal{U}$$

IV. Die reduzierte Form

Um die reduzierte Form $\hat{h} = -\mathcal{B}^1 \mathcal{C}_3 = \hat{p}_3$ zu erhalten, muß die Funktionalmatrix $\mathcal{B}$ invertiert werden. Das erreicht man durch folgendes Iterationsverfahren: die Matrix $\mathcal{B}$ wird um die gleichrangige Einheitsmatrix $\mathcal{E}$ verbreitert: $(\mathcal{B}, \mathcal{E})$. Durch lineare Zeilenoperationen, den gleichen wie bei der regulären Simplexmethode, werden nach und nach alle "störenden" Koeffizienten in $\mathcal{B}$ beseitigt. So entsteht aus $\mathcal{B}$ die Einheitsmatrix und aus $\mathcal{E}$ die Inverse von $\mathcal{B}$:

$$\begin{pmatrix} \mathcal{B} & \mathcal{E} \\ \mathcal{E} & \mathcal{B}^{-1} \end{pmatrix}$$

Im Beispiel sind 10 Iterationen erforderlich, weil 10 Spalten "bereinigt" werden müssen.

$$\mathcal{B}^1 = \left(\begin{array}{cccccccccccc} \frac{1}{1-a_0} & \frac{1}{1-a_0} & \frac{1}{1-a_0} & \frac{1}{1-a_0} & & & & & & & & \\ & & & & 1 & & & & & & & \\ & & & & & 1 & & & & & & \\ \frac{a_0}{1-a_0} & \frac{a_0}{1-a_0} & \frac{a_0}{1-a_0} & \frac{1}{1-a_0} & & & & & & & & \\ & & & & & & 1 & x_1 & x_2 & & & \\ & & & & & & & 1 & & & & \\ & & & & & & & & 1 & & & \\ \frac{a_2}{1-a_0} & \frac{a_2}{1-a_0} & \frac{a_2}{1-a_0} & \frac{a_2}{1-a_0} & & & & & & 1 & & \\ \frac{a_0-a_2}{1-a_0} & \frac{a_0-a_2}{1-a_0} & \frac{a_0-a_2}{1-a_0} & \frac{1-a_2}{1-a_0} & & & & & & -1 & 1 & \\ -\frac{1}{1-a_0} & -\frac{1}{1-a_0} & -\frac{1}{1-a_0} & -\frac{1}{1-a_0} & & & 1 & x_1 & x_2 & & & 1 \\ \frac{a_0-a_2-1}{1-a_0} & \frac{a_0-a_2-1}{1-a_0} & \frac{a_0-a_2-1}{1-a_0} & \frac{a_2}{1-a_0} & & & 1 & x_1 & x_2 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right)$$

Die reduzierte Form ergibt sich aus der Multiplikation von $\mathcal{B}^{-1}$ mit $\mathcal{C}_3$. $\mathcal{C}_3$ entspricht der "exogen"-Säule auf Seite 73 oben.

Die reduzierte Form weist nur noch die Stückzahlen x_i als Einflußgröße auf:

$$L = \frac{1}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$$

$$M = m_1x_1 + m_2x_2$$

$$LO = l_1x_1 + l_2x_2$$

$$GK_g = \frac{a_0}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$$

$$E = a_3x_1 + a_4x_1^2 + a_5x_2 + a_6x_2^2$$

$$P_1 = a_3 + a_4x_1$$

$$P_2 = a_5 + a_6x_2$$

$$GK_a = a_1 + \frac{a_2}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$$

$$GKU = \frac{a_1-a_2}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2) - a_1$$

$$KE = a_3x_1 + a_4x_1^2 + a_5x_2 + a_6x_2^2 - \frac{1}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$$

$$G = \frac{a_0-a_2-1}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2) + a_3x_1 + a_4x_1^2 + a_5x_2 + a_6x_2^2 - a_1$$

Kleinstquadratschätzungen führen nicht nur für die reduzierte Form, sondern auch bei der rekursiv-reduzierten Form zu unverzerrten Schätzwerten; denn diese läßt sich - eine Gleichung nach der anderen - lösen, weist demnach keine Simultaninseln auf und hat somit die Funktionaldeterminante 1. Die Rechnung vereinfacht sich, wenn man sich statt der reduzierten Form mit der rekursiv-reduzierten Form begnügt. Mathematisch entspricht dieses Vorgehen der Umformung von $\mathcal{B}$ in eine Dreiecksmatrix.

V. Die rekursiv-reduzierte Form

Aus $\hat{h} = -B^{-1}C_3$ werden nur die Gleichungen mit Interdependenzbeziehungen in die reduzierte Struktur umgeformt; es sind die Gleichungen, die in der B^{-1} -Hauptdiagonalen einen von 1 verschiedenen Wert haben, hier also die Gleichungen 1 und 4:

$$L = \frac{1}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$$

$$M = m_1x_1 + m_2x_2$$

$$LO = l_1x_1 + l_2x_2$$

$$GK_g = \frac{a_0}{1-a_0} (m_1x_1 + m_2x_2 + l_1x_1 + l_2x_2)$$

$$E = x_1P_1 + x_2P_2$$

$$P_1 = a_3 + a_4 \cdot x_1$$

$$P_2 = a_5 + a_6 \cdot x_2$$

$$GK_a = a_1 + a_2 \cdot L$$

$$GKU = GK_g - GK_a$$

$$KE = E - L$$

$$G = KE + GKU$$

Nach der Schätzung der Parameter können die endogenen Variablen in der auf der nächsten Seite angegebenen Kette rekursiv prognostiziert werden. Die Koeffizienten sind nur mit einem Kreuz gekennzeichnet, da für die Lösungsreihenfolge nur ihr Auftreten überhaupt, nicht aber ihr Wert entscheidend ist. Die umkreiste Variable ist diejenige, die in der betreffenden Gleichung aus den anderen Variablen errechnet wird. Ist eine Variable numerisch ermittelt, so liegt ihr Wert auch für die anderen Gleichungen fest (senkrechter Strich durch die entsprechende Spalte), woraufhin eine andere Gleichung gelöst werden kann usw.

VI. Reihenfolge der Lösung bei der rekursiv-reduzierten Form

Gleichung	L	M	LO	GK _g	E	P ₁	P ₂	GK _a	GKU	KE	G	exogen x ₁ x ₂	1
1	(X)											X	X
2		(X)										X	X
3			(X)									X	X
4				(X)								X	X
5					(X)		X					X	X
6						(X)						X	X
7													X
8								(X)				X	X
9									(X)				X
10										(X)			X
11											(X)		X
Lösungs- reihenfolge	1	2	3	4	7	5	6	8	9	10	11		

52 Die komponentenweise Schätzung der Parameter in der reduzierten Gewinngleichung

Wie die volle Besetzung der letzten Zeile in zeigt, gehen - was ja auch dem Zweck der Ergebnisprognose entspricht - alle Größen des Modells in die reduzierte Gewinngleichung ein.

Da der Gewinn im Beispiel die einzige entscheidungsrelevante Variable ist, kann auf die Parameterschätzung der vorgelagerten und in den Gewinn eingehenden Gleichungen in diesem Zusammenhang verzichtet werden.

Die Gewinngleichung in der reduzierten Form lautete unter Verwendung der originären Parameter:

$$G = \frac{a_0 - a_2 - 1}{1 - a_0} (m_1 x_1 + m_2 x_2 + l_1 x_1 + l_2 x_2) + (a_3 + a_4 x_1) x_1 + (a_5 + a_6 x_2) x_2 - a_1$$

$m_1 x_1 + m_2 x_2 + l_1 x_1 + l_2 x_2$ stellt Materialverbrauch und Fertigungslöhne je Periode dar, entspricht also den Einzelkosten EK. Somit ergibt sich - nach Überführung der originären Parameter in die der reduzierten Form - als reduzierte Gewinngleichung:

$$G = \underbrace{b_1 + b_2 \cdot EK}_{\text{Komp. 1}} + \underbrace{(b_3 + b_4 x_1) x_1}_{\substack{\text{Komp. 2} \\ (E_1)}} + \underbrace{(b_5 + b_6 \cdot x_2) x_2}_{\substack{\text{Komp. 3} \\ (E_2)}}$$

Die reduzierte Gewinngleichung beinhaltet auch Komponenten, deren Parameter die gleichen bleiben gegenüber der Gleichung (Zeile) in der originären Struktur. Das gilt hier für die Erlöse beider Erzeugnisse, E_1 und E_2 :

$$\text{Aus } E_1 = (a_3 + a_4 x_1) x_1 \quad \text{wird} \quad (b_3 + b_4 x_1) x_1$$

$$\text{" } E_2 = (a_5 + a_6 x_2) x_2 \quad \text{" } (b_5 + b_6 x_2) x_2$$

Solch zeilenweise Beibehaltung von Regressionsgleichungen ermöglicht es, die Parameter der reduzierten Gewinngleichung komponentenweise zu ermitteln.

Anderenfalls wären betriebsökonometrische Prognosen unmöglich: Die Anzahl der Einflußgrößen in der reduzierten Gewinngleichung ist ja notwendigerweise größer als die Anzahl der Erzeugnisse n . Zur simultanen Schätzung der zugehörigen Parameter wären dann mehr als $n+1$ Beobachtungswerte, meist: Jahreswerte, erforderlich ¹⁾. Das ist wohl in keinem praktischen Fall möglich.

Zudem ist die Anzahl der Beobachtungswerte in den einzelnen Komponenten der Gewinngleichung sehr unterschiedlich; im Beispiel hat das Produkt 1 ein "Lebensalter" von acht Jahren, Produkt 2 von sechs Jahren.

Alle diese Schwierigkeiten lassen sich durch komponentenweise Schätzung der reduzierten Gleichung vermeiden. Mit diesem Vorgehen nicht zu verwechseln ist das Prognostizieren aller Gewinnelemente und ihre Verdichtung in der Lösungsreihenfolge der rekursiv-reduzierten Form ²⁾. Gegenüber der großen Elementenzahl (elf) stellt die reduzierte Gewinngleichung mit drei Komponenten bereits eine erhebliche Zusammenfassung dar.

1) Ansonsten entsteht in $X'X$ eine lineare Abhängigkeit; wegen dieser Singularität ist eine Matrixinversion nicht möglich, so daß die Regressionsparameter nicht ermittelt werden können.

2) Siehe S. 77.

Die Komponente 1

$$\frac{a_0 - a_2^{-1}}{1 - a_0} (m_1 x_1 + m_2 x_2 + l_1 x_1 + l_2 x_2)$$

ist, wie schon die Kombination der Parameter zeigt, ein Konglomerat aller d e r Größen, die

▷ sich gegenseitig bedingen ("Simultaninsel")

oder

▷ von der gleichen Einflußgröße abhängen, wie z.B. Gemeinkostenauflauf und gedeckte Gemeinkosten als Komponenten des Deckungsergebnisses, aber auch die Leistung; alle diese Größen haben die Einzelkosten $(m_1 x_1 + m_2 x_2 + l_1 x_1 + l_2 x_2)$ als unabhängige Variable.

Abhängige Variable dieser (Makro-) Komponente ist die ursprüngliche Zielgröße Gewinn (G), vermindert um die d i r e k t zu prognostizierenden Einzelkomponenten E_1 und E_2 ($E_1 + E_2 = E$):

$$\text{Da} \quad G = KE + GKU \quad (\text{Gleichung 11})$$

$$= (E - L) + GKU \quad (\text{nach Gleichung 10})$$

$$\text{ist} \quad G - E = \underline{\underline{GKU - L}} \quad \text{die abhängige Variable}$$

der ersten Einfluß-Komponente.

Nacheinander werden nun Kleinstquadratschätzungen der drei Komponenten

$$GKU - L = f(EK)$$

$$E_1 = f(x_1)$$

$$E_2 = f(x_2)$$

vorgenommen. Aus den auf der nächsten Seite dargestellten Grunddaten resultieren folgende Prognosefunktionen:

Lfd. Nr.	Automaten		Kabelbäume		Einzelkosten EK	Gemeinkosten		Leistung L
	Stückzahl x ₁	Preis P ₁	Stückzahl x ₂	Preis P ₂		gedeckt GK _g	aufgelaufen GK _a	
1	5'572	2,63	-	-	2'793	2'937	3'490	5'730
2	3'990	2,55	-	-	3'864	3'935	3'765	7'799
3	5'320	2,55	1240	21,65	8'039	6'543	6'441	14'582
4	6'912	2,54	1283	21,05	11'236	10'470	8'444	21'706
5	6'608	2,54	1341	20,80	11'132	10'778	8'858	21'910
6	8'249	2,45	1501	20,85	14'331	12'832	10'661	27'163
7	10'477	2,44	1580	20,76	18'369	15'664	11'690	34'033
8	11'347	2,42	1649	20,39	21'072	18'372	12'845	39'444
	56'475	-	2'594	-	90'836	81'531	66'194	172'367

$$(\hat{GKU} - L) = -2'222 - 1,533 \cdot EK$$

$$\hat{E}_1 = (2,68 - 0,000024x_1)x_1$$

$$\hat{E}_2 = (21,812 - 0,0021x_2)x_2$$

Die Unsicherheit in der Prognose der abhängigen Variablen und damit des Gewinns beruht auf der aus den Einflußgrößen nicht erklärbaren Reststreuung in jeder Gleichung und auf der Schätzstreuung der Parameter selbst.

Unverzerrte Schätzwerte für die Streuung der latenten Variablen u (σ_u^2) erhält man aus:

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{Y'Y - b'X'Y}{n - p}$$

für alle Komponenten ($i = 1, 2, 3$) mit p als Anzahl der in einer Komponenten zu schätzenden Parameter.

Unter der Annahme der Unabhängigkeit der latenten Variablen in den Komponenten erhält man als Reststreuung des Gesamtgewinnes nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\hat{\sigma}_u^2 = \hat{\sigma}_{u_1}^2 + \hat{\sigma}_{u_2}^2 + \hat{\sigma}_{u_3}^2$$

$$\text{so daß} \quad u = N[0, \hat{\sigma}_u^2]$$

Die Varianz der geschätzten Parameter ergibt sich ¹⁾ wie folgt:

$$\text{var}(\hat{b}) = \hat{\sigma}_u^2 \cdot (X'X)^{-1}$$

¹⁾ Vgl. J. Johnston: "Econometric methods", S. 109/110.

Die reduzierte Prognosegleichung für den Gewinn, aufgeteilt nach Komponenten, lautet mit den zugehörigen Standardabweichungen:

$$(GKU - L) = -2'222 - 1,533 \cdot EK \pm 574'9$$

$$(\pm 432,15) (\pm 0,0336)$$

$$E_1 = (2,68 - 0,000024 \cdot x_1 \pm 0,028) \cdot x_1$$

$$(\pm 0,03) (\sim \pm 0)$$

$$E_2 = (21,81 - 0,0021 \cdot x_2 \pm 0,2602) \cdot x_2$$

$$(\pm 0,318) (\pm 0,0007)$$

Eine Verbesserung des prognostischen Wertes läßt sich sicher durch Einbeziehung weiterer Einflußgrößen erreichen. Das Geschäft mit Sicherungsautomaten z.B. dürfte wesentlich vom Wohnungsbauvolumen, der Absatz der Kfz-Installation von der Anzahl der neuzugelassenen Kraftfahrzeuge (mit einer gewissen zeitlichen Versetzung) abhängen. Der allgemeinen Ausweitung des Marktes ist es beispielsweise zuzuschreiben, daß die Absatzmengen beider Produkte trotz nur geringfügig sinkender Preise explosiv angewachsen sind, daß also die Preis-Absatz-Funktionen relativ flach verlaufen.

Nach Eingabe numerischer Werte für die exogenen Variablen - im Beispiel sind es, da auch die Einzelkosten EK von den Stückzahlen abhängen ¹⁾, mit den Fertigungsmengen x_1 und x_2 nur Entscheidungsvariable und keine nichtkontrollierten Größen - kann der Prognosewert für den Gewinn ermittelt werden. Unter der gebräuchlichen und meist begründeten Annahme der Normalverteilung ist es auch möglich, die Prognosestreuung des Gewinnes abzuleiten.

¹⁾ Auf eine Einheit des Erzeugnisses 1 entfallen DM 1,25.
Auf eine Einheit des Erzeugnisses 2 entfallen DM 10,66.

Die gesamte Prognosestreuung

$$\text{var}(\hat{Y}) = \hat{\sigma}_u^2 \cdot \mathbf{x}_0' \cdot (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \cdot \mathbf{x}_0 + \hat{\sigma}_u^2$$

zerfällt also in zwei Teile, einmal die Streuung des bei sich ändernden Strukturparametern ebenfalls variierenden Regressionswertes und zum anderen die Abweichung zwischen realisiertem und Prognosewert aufgrund der Reststreuung.

Die Streuung des Regressionswertes kann durch vergrößerte Anzahl von Beobachtungswerten verringert werden, die Streuung um den Regressionswert dagegen nicht.

Die durch die Varianz der Strukturparameter bedingte Streuung der Punktprognose ist quadratisch in den Einflußgrößen $\mathbf{x}_0$. Sie hat ihr Minimum in $\mathbf{x}_0 = \bar{\mathbf{x}}$. Je weiter die Werte der Einflußgrößen vom jeweiligen Mittelwert entfernt liegen, desto größer wird die Prognosestreuung.

Die Berechnung der Prognosestreuung setzt also die Kenntnis der numerischen Werte der Einflußgrößen voraus. Die Tatsache aber, daß die exogenen Größen nicht streng determiniert sind, sondern oft sehr unterschiedliche und ausgefallene Verteilungen aufweisen, verhindert meist eine formelmäßige Bestimmung der Prognosestreuung.

Auch die Werte der Entscheidungsvariablen liegen nicht ausschließlich in der Hand des Unternehmers; oft kann er nur eine Rahmenentscheidung treffen. Im Extrem verbleibt dem Unternehmer nur die qualitative Entscheidung, ob er ein Erzeugnis überhaupt fertigt. Der Marktgegenseite obliegt es dann, die Lieferstückzahl festzulegen. Eine solche Marktsituation kennzeichnet nicht nur öffentliche Monopolbetriebe wie die Deutsche Bundespost, auch in der Industrie ist sie häufig anzutreffen.

Im Beispiel des Installationsgerätekwerkes ist die Unternehmensleitung in bezug auf das Produkt 2, die Fahrzeugleitungssätze, in der Stückzahl weitgehend

vom Auftraggeber in der Automobilindustrie abhängig. Nachdem mit diesem die Lieferung der "Kabelbäume" für ein bestimmtes Automodell - nach technischer Abstimmung - vereinbart wurde, entscheidet die Aufnahme des neuen Wagens am Markt, wieviel Autos gebaut werden und wieviel Kabelbäume folglich zu liefern sind.

Die Unsicherheit ist in diesen Fällen, in denen ein Erzeugnis an einen Kunden in ungewisser Stückzahl geliefert wird, naturgemäß besonders groß.

Der Drang, aufgrund der dann günstigeren Kostenlage zu großen Stückzahlen für ein Erzeugnis zu gelangen, begünstigt die Tendenz zu solchen bilateralen Großabschlüssen, wie sie z.B. zwischen Versandhäusern und ihren Exklusiv-Zulieferern typisch sind.

Im Gegensatz zu der ungewissen Entwicklung bei den Kabelbäumen steht das relativ gesicherte Breitengeschäft bei den Sicherungsautomaten. Vertragspartner ist hier nicht ein einzelnes Unternehmen, sondern es sind Tausende von Installateuren. Dennoch ist der Betrieb in seiner Stückzahlentscheidung nicht völlig frei. Ist der Sicherungsautomat auf dem Markt eingeführt und hat er einen gewissen Marktanteil errungen, so kann es der Betrieb sich schwerlich leisten, die große Nachfrage nur unvollkommen zu bedienen, da dies auch zu Rückschlägen im bisherigen Geschäft führen würde.

Somit ist die Streuung der Stückzahlen bei den Sicherungsautomaten zwar geringer als bei den Kabelbäumen, ganz vermeiden läßt sie sich aber auch hier nicht.

Die Streuung der exogenen Variablen ¹⁾, sowohl der Entscheidungsvariablen als auch der nichtkontrollierten Größen, ist die Ursache dafür, daß die Verteilung

¹⁾ Mit Ausnahme der verzögerten endogenen Variablen.

des Gewinnes als ein wesentliches Entscheidungskriterium nur auf dem Wege der Simulation ermittelt werden kann ¹⁾.

53 Die Simulation des Betriebsgewinnes und seiner Varianz für die Entscheidungsalternativen und ihre Berücksichtigung im μ, σ -Prinzip

Alle drei Quellen der Unsicherheit, die Parametervarianz, die Reststreuung und die Wahrscheinlichkeitsverteilung der exogenen Variablen, müssen bei der Simulation berücksichtigt werden. Am einfachsten - für die praktische Anwendung aber sicher hinreichend genau - ist es, alle Variablenwerte unabhängig voneinander über Zufallszahlen zu erzeugen.

Es ist natürlich auch möglich - z.B. im Fall einer multikollinearen Beziehung zwischen den Absatzmengen zweier Erzeugnisse -, verbundene (bedingte) Zufallszahlen zu generieren.

Während für die Simulation der Strukturparameter und der latenten Variablen entsprechend der Methode der kleinsten Quadrate und ihren Prämissen normalverteilte

¹⁾ Mit diesem Fall, daß die zukünftigen Werte der Einflußgrößen Zufallsvariable sind, darf das Auftreten fehlerbehafteter oder zufallsverteilter Beobachtungswerte nicht verwechselt werden. Letztere Erscheinung führt zur Abhängigkeit der Fehlerterme von den Einflußgrößen und damit zu Komplikationen bei der Schätzung der Parameter; vgl. E. Malinvaud: "Méthodes statistiques de l'économétrie", 2. Auflage Paris 1969, Kapitel 10: "Modèles linéaires à erreurs sur les variables", S. 396 - 434. Von den meisten bisher durchgeführten Monte-Carlo-Studien unterscheidet sich die hier durchgeführte Simulation durch ihren Zweck, die Prognose, während jene die Eigenschaften von nach verschiedenen Methoden ermittelten Schätzwerten untersuchen, indem "Parameter vorgegeben, 'vergessen' und neu geschätzt" (K. Grenzdörffer, a.a.O., S. 77) und dann die Verzerrungen gegenüber den vorgegebenen Parametern und ihre Streuungen verglichen werden; vgl. auch H. Seibt: "Schätzung und Prognose bei simultanen Gleichungsmodellen. Eine Monte Carlo-Untersuchung", Göttingen 1968.

Zufallsvariable benutzt wurden ¹⁾, sind die Verteilungen der Entscheidungsvariablen sehr verschieden voneinander und müssen daher individuell simuliert werden. Zudem variieren die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der kontrollierten Variablen zwischen allen Entscheidungsalternativen.

Die unterschiedliche Markt- und Risikosituation beider Produkte drückt sich auch in den Stückzahl-Verteilungen aus, die auf den beiden folgenden Seiten dargestellt sind.

Da beide Erzeugnisse bei den gegenwärtigen Absatzmengen Gewinn bringen und - infolge der relativ flach geneigten Preis-Absatz-Funktionen - noch unterhalb der Cournot'schen Mengen liegen, wäre vom Ergebnis her eine allgemeine Expansion wünschenswert. Diese scheitert aber an der knappen Kapazität ²⁾, insbesondere an der begrenzten Zahl angelernter Arbeiterinnen. Die beiden in je 60 - hier im einzelnen nicht wiedergegebenen - Simulationen durchgerechneten Entscheidungsvarianten sehen also vor, entweder

▷ die Kfz-Installation wesentlich zu forcieren bei Stagnation der Automatenfertigung (Variante I) oder

▷ auf die Ausrüstung weiterer Autotypen zu verzichten und das relativ sichere Automatengeschäft verstärkt zu betreiben (Variante II).

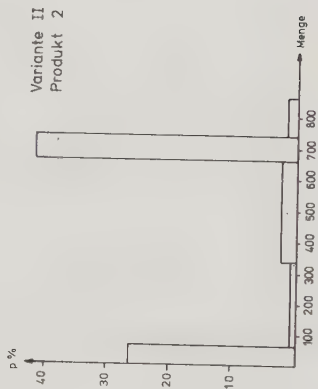
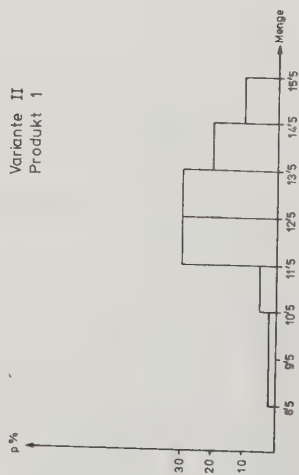
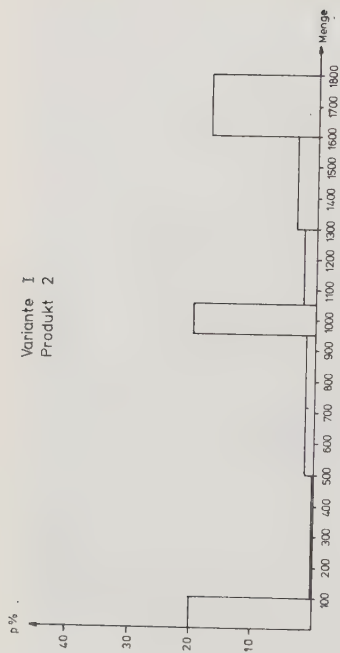
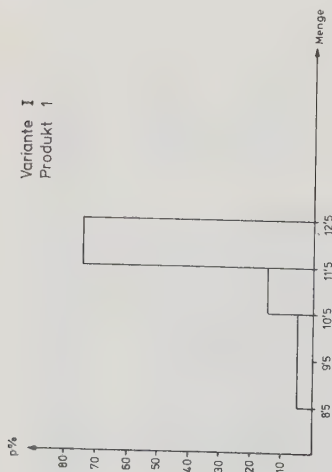
Die "Gewinnverteilung" des Produktes 2 zeigt deutlich die Autotyp-Abhängigkeit des Geschäftes auf dem Gebiet der Kfz-Installation.

Das Ziel der Simulation ist die Ermittlung des Mittelwertes und der Streuung des Betriebsgewinnes für jede der beiden Entscheidungsalternativen. Seite zeigt die Gewinnverteilungen beider Alternativen.

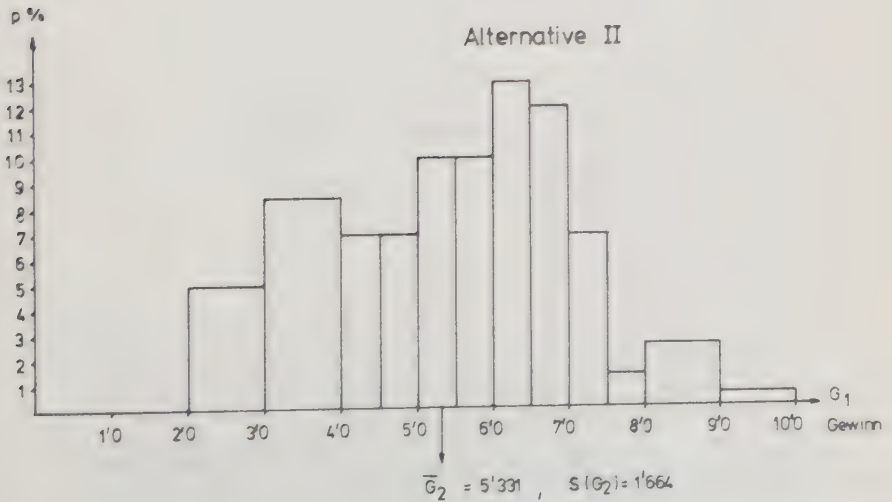
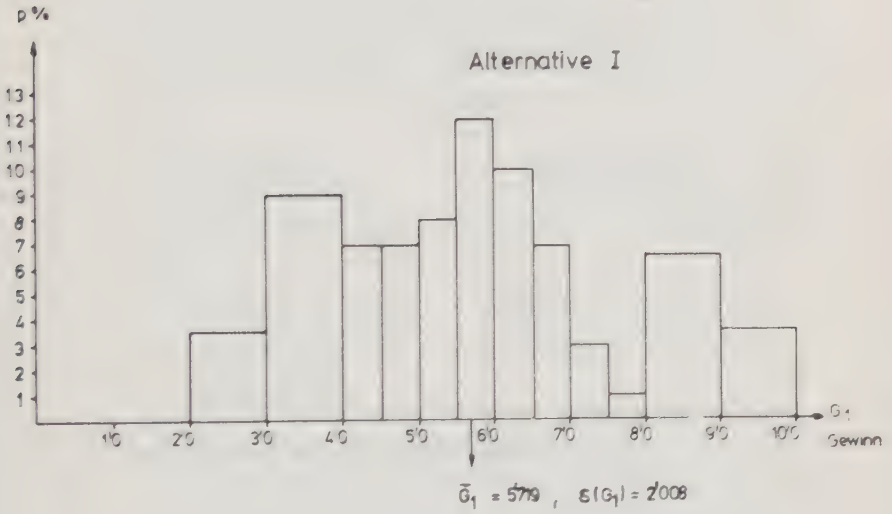
Trotz der unsymmetrischen und sprunghaften Verteilungen

¹⁾ Charles E. Clark: "Random Numbers in Uniform and Normal Distribution", San Francisco 1966, S. 66 - 123.

²⁾ Der Begriff "knappe Kapazität" ist hier abhängig von der Prognoseperiode: Gegenüber der starren kurzfristigen Kapazität sind bei der Jahresprognose die innerhalb des Jahres möglichen Kapazitätserweiterungen zu berücksichtigen.



Verteilung der Gewinne nach der Simulation



der Entscheidungsvariablen ist jedoch - schon bei nur zwei Produkten! - die Tendenz zur Normalverteilung des Ergebnisses unverkennbar, ein Hinweis darauf, daß bei betriebsumfassenden Prognosesystemen das an sich nur im Falle normalverteilter Risiken Bernoulli-rationale μ, σ -Prinzip zu sehr guten Näherungen führt und daher auf diesem Gebiet allgemein angewendet werden kann.

Die Ergebnisse der Simulation:

<u>Alternative I:</u>		<u>Alternative II:</u>	
$\bar{G}_1$	= 5'719	$\bar{G}_2$	= 5'331
$s(G_1)$	= 2'008	$s(G_2)$	= 1'644
$s^2(G_1)$	= 4"033'532	$s^2(G_2)$	= 2"702'865

Die Bewertung der Entscheidungsalternativen und die Wahl zwischen ihnen aufgrund der in den Abschnitten 34 und 35 empirisch ermittelten Präferenzfunktion

$$\Psi(\mu, \sigma) = \mu - 0,262 \cdot \sigma^2 = \bar{G} - 0,262 \cdot s^2(G)$$

führt zu ¹⁾:

Alternative I:

$$\Psi_1 = 5,719 - 0,262 \cdot 4,034 = 5,719 - 1,057$$

$$\Psi_1 = 4,662$$

=====

Alternative II:

$$\Psi_2 = 5,331 - 0,262 \cdot 2,703 = 5,331 - 0,718$$

$$\Psi_2 = 4,613$$

=====

¹⁾ Wichtig ist, daß μ und σ [bzw. die an ihrer Stelle verwendeten Simulationsergebnisse $\bar{G}$ und $s(G)$] in der gleichen Maßeinheit verwendet werden, die ursprünglich bei der Ermittlung der Nutzenfunktion gewählt wurde, hier also in Mio. DM.

Die höhere Gewinnerwartung der Variante I wird also fast völlig durch das dem Kabelbaum-Geschäft immanente höhere Risiko kompensiert, so daß der Vergleich der "risikodiskontierten" Gewinne nur noch knapp (50.000 DM) zu ihren Gunsten ausfällt.

Die methodische Vorgehensweise ändert sich nicht wesentlich, wenn andere Entscheidungsvariable außer den Stückzahlen und ferner nichtkontrollierte exogene Variable auftreten. Das gilt auch bei kombinierten Zielen, die mehrere endogene, ggf. aber auch exogene Variable umfassen, z.B. wenn die Entscheidungsvariable "Menge" über den Marktanteil selbst wieder Unternehmensziel ist.

Der generelle Ablauf ist folgender ¹⁾:

- 1) Überführung der Originalstruktur in die reduzierte Form.
- 2) Aufgliederung der reduzierten Form
 - a) Aussonderung der für die Entscheidung nicht relevanten endogenen Variablen mit ihren Bestimmungsgleichungen ²⁾. Damit wird der Vektor h in h^* überführt, das nur noch die in die Zielfunktion eingehenden endogenen Größen enthält.
 - b) Aufteilung der exogenen Variablen in Entscheidungsvariable g^* und nichtkontrollierte Variable. Zu den Entscheidungsvariablen zählen alle betriebspolitischen Größen, auch wenn über ihren Ansatz nicht allein und daher nur mit Angabe ihrer Verteilung entschieden werden kann.

¹⁾ Anknüpfend an: H. Theil: "Economic forecasts and policy", 2. Auflage Amsterdam 1965, insbesondere Kap. VII ("Forecasts and policy: problems and tools") und Kap. VIII ("Forecasts and policy: analysis and applications").

²⁾ Die für die Entscheidung nicht relevanten endogenen Variablen können nicht schon in der originären Struktur ausgesondert werden, weil sie als Zwischengrößen auf die Zielvariable (n) einwirken, was auch die reduzierten Gleichungen der Zielvariablen beeinflusst.

Die auf wenige Gleichungen (im Beispiel: eine einzige) verkürzte reduzierte Form lautet dann:

$$y^* = P \cdot \xi^* + \zeta$$

ζ ist die Zusammenfassung aller nichtkontrollierten Variablen mit ihren Verteilungen, zuzüglich der latenten Variablen in der jeweiligen Gleichung.

- 3) Schätzung der Parametermatrix P nach der Methode der kleinsten Quadrate mit den zugehörigen Varianzen und der Reststreuung.

- 4) Festlegung der Entscheidungsalternativen, d.h. der ξ^* -Pakete mit den zugehörigen Verteilungen.

Die Ansätze der ξ^* für eine Entscheidungsalternative sollten abgestimmt und widerspruchsfrei sein; wünschenswert ist eine vorherige Prüfung auf Realisierbarkeit des Programms im Rahmen der Kapazitäten.

- 5) Simulation des verkürzten Prognosemodells, isoliert für jede Entscheidungsalternative (jede ξ^* -Kombination) unter Berücksichtigung der Streuungen in den Strukturparametern, in den kontrollierten und nichtkontrollierten Variablen sowie unter Beachtung der Reststreuung. Ermittlung der Ergebnisse je Entscheidungsalternative.

- 6) Wirtschaftliche Bewertung der Entscheidungsalternativen.

a) aufgrund einer μ, σ -Präferenzfunktion oder

b) bei komplizierteren und kombinierten Nutzenfunktionen: Die Ergebnisse der Entscheidungsalternativen werden paarweise verglichen (evtl. nach Voraussonderung der auf den

ersten Blick undiskutablen Alternativen),
woraus sich unter der Voraussetzung der
Transitivität eine Präferenzskala für alle
Alternativen ergibt.

- 7) Die Unternehmensleitung wählt das beste Ergebnis aus und entscheidet sich für die Alternative $\bar{x}_i^+$, die zu diesem subjektiv besten Ergebnis führte.

Eine Komplikation tritt in Punkt 6 ein, wenn - wie in Großbetrieben üblich - die Entscheidungsfindung kollektional und hierarchisch erfolgt. Eine gemittelte oder gewichtete Nutzenfunktion über alle Mitglieder der Unternehmensleitung ist wegen der Spezialisierung der Leiter nicht sinnvoll. Hier bietet sich an - was auch wegen der erwähnten Instabilität von individuellen Nutzenschätzungen zweckmäßig erscheint -, ausgehend von empirisch ermittelten Präferenzfunktionen deren
R i s i k o - K o e f f i z i e n t e n a i n
 $\Psi(\mu, \sigma') = \mu - \frac{a}{2} \cdot \sigma'^2$ verbindlich vorzugeben,
und zwar entsprechend der einmal gewählten Risikopolitik differenziert nach Produktbereichen.

Bei der Festlegung dieser Koeffizienten muß beachtet werden, daß zur empirischen Ermittlung der Nutzenfunktion der Unternehmer vor eine einmalige Wahl gestellt wird; einmalig im Jahr ist aber nur der Gesamtgewinn des Betriebes. Alle Einzelentscheidungen im Laufe eines Jahres sind zwar auch individuell und kehren unter den gleichen Bedingungen nie wieder. Sie sind jedoch eine modifizierte Wiederholung des Vorganges "Gewinnerzielung".

Die Situation ähnelt der eines Glücksspielers, der an einem Abend einmal Roulette spielt, einmal würfelt und noch andere Glücksspiele betreibt. Die Spiele sind verschieden, der Spieler kann aber damit rechnen, daß sich Glück und Pech wahrscheinlich weitgehend kompensieren werden.

Folglich wäre es falsch, wenn man die Präferenzfunktion wie bei der Entscheidung über das gesamte Jahresprogramm auch bei jeder Einzelentscheidung, bei jeder Wahl z.B. zwischen zwei kleinen Investitionen, zugrunde legen würde. Werden etwa alle Investitionen gestrichen, bei denen die Unrentabilität nicht völlig unwahrscheinlich oder nicht ausgeschlossen ist, dann steht nach den statistischen Gesetzen zu erwarten, daß damit auch auf einen insgesamt relativ gesicherten, höheren Gewinn verzichtet wird. Daß sich Risiko und Chance von Einzelentscheidungen weitgehend kompensieren ¹⁾, letztlich aber nur der Gewinn eines Jahres entscheidungsrelevant ist, muß beim Fällen von Entscheidungen unter Unsicherheit berücksichtigt werden. Im wesentlichen sind hierfür zwei Methoden denkbar:

- 1) Die Auswirkung einer Einzelentscheidung wird - bei Annahme der ceteris-paribus-Klausel - hochgerechnet auf den Gesamtgewinn und seine Streuung, so daß die ursprüngliche Präferenzfunktion wieder angewendet werden kann.
- 2) In die Präferenzfunktion wird der "Wert" der Entscheidung so eingearbeitet, daß der Risikoaversionskoeffizient a mit sinkendem Entscheidungswert (z.B. der spezifischen Gewinnerwartung) ebenfalls niedriger wird.
Es können aber auch Risikokoeffizienten für bestimmte Entscheidungsarten und "Größenklassen" vorgegeben werden; "geringwertige Entscheidungen" würden dann - wie praktisch ohnehin üblich - allein aufgrund ihrer Gewinnerwartung getroffen werden.

Die Klassifikation der vorzugebenden Risikoaversionskoeffizienten nach Produktionsgebieten (entsprechend der betrieblichen Risikopolitik) und nach Entscheidungs-

¹⁾ Im Gegensatz zum erwähnten Glücksspiel-Beispiel sind allerdings die Erfolge oder Mißerfolge von Einzelentscheidungen infolge des allgemeinen konjunkturellen Verbundes nicht völlig unabhängig voneinander, so daß die Kompensation nicht so gut ist wie bei unabhängigen Glücksspielen.

werten wird für jeden Betrieb eine Fülle individueller Probleme aufwerfen. Wenn diese auch nicht hundertprozentig gelöst werden können, so muß doch wenigstens tendenziell verhindert werden, daß die Unternehmung durch einheitliche Anwendung eines Risikoaversionskoeffizienten auf alle Entscheidungen an ihrem Ziel der risikooptimalen Erzielung eines jährlichen Gesamtgewinnes vorbeigesteuert wird.

Schwierigkeiten bereitet insbesondere die Ermittlung von "Entscheidungswerten" für Einzelmaßnahmen, da oft die Gewinnzurechnung von Einzelentscheidungen infolge der betrieblichen Interdependenzen nicht möglich ist. In diesen Fällen ist aber auch die isolierte Entscheidung über ein Einzelproblem falsch; hier ist eine Integrierung in einen größeren Entscheidungsverbund erforderlich, die auch das Hauptziel der simultanen Optimierungsverfahren ist.

Bevor aber auf die methodischen Verbindungslinien zwischen einem Prognosesystem und der Programmoptimierung in Abschnitt 6 eingegangen wird, bedarf das Prognosesystem noch einer inhaltlichen Erweiterung.

54 Der Ausbau des Modelles zu einem alle entscheidungsrelevanten Größen umfassenden System der Deckungsbeitragsrechnung

Das Bewerten verschiedener Alternativen der Programm-entscheidung nach dem μ, σ -Prinzip, wie es im vereinfachenden Beispiel veranschaulicht wurde, erfordert nicht nur die Prognose des zu erwartenden Gewinnes je Alternative und der zugehörigen Varianz, sie setzt auch eine Prüfung auf Realisierbarkeit im Rahmen der gegebenen Kapazitäten voraus.

Diese Prüfung kann bei jeder Simulation vorgenommen werden, so daß alle kapazitativ nicht zulässigen Programmkonstellationen herausgefiltert werden und nur die realisierbaren Einzelsimulationen weiterverarbeitet und der Entscheidung zugrunde gelegt werden.

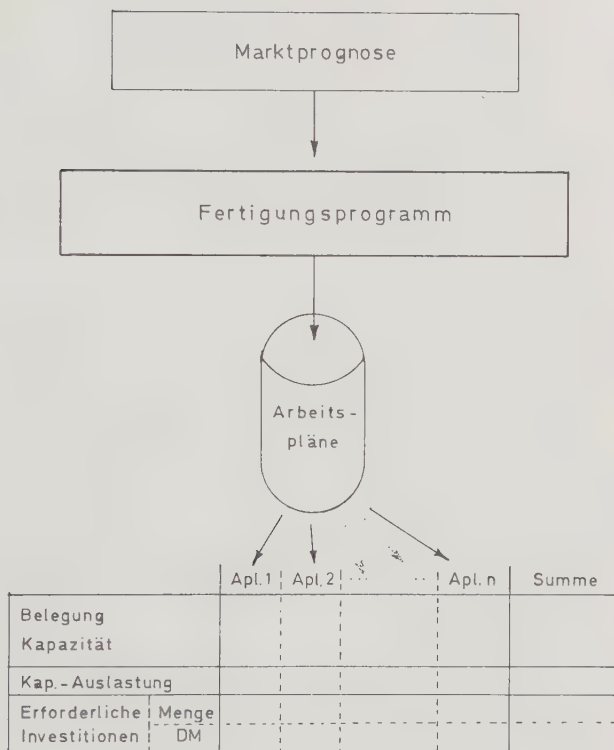
Nachteil dieser Methode ist, daß - gerade in Zeiten der Vollbeschäftigung, in denen glücklicherweise die Auswahl an Programmalternativen, damit aber leider auch das Risiko von Fehlentscheidungen besonders groß ist - sehr viele Simulationen durchgeführt werden müssen, um eine relativ kleine Zahl kapazitativ "gültiger" Simulationen zu erhalten.

Erschwerend wirkt bei diesem Vorgehen ferner, daß die Betriebskapazitäten als unveränderlich angenommen werden, was nur für sehr kurze Fristen richtig ist, der mittelfristigen und langfristigen Flexibilität eines Industriebetriebes aber nicht gerecht wird.

Somit scheint es sinnvoll zu sein, den Kapazitätsbedarf einer simulierten Alternative zu ermitteln, ihm die gegebenen Kapazitäten der Arbeitsplätze gegenüberzustellen und daraus die evtl. fehlenden Fertigungseinrichtungen abzuleiten. Die Fertigungsinvestitionen, die für ein Programm erforderlich sind, führen ihrerseits zu sprungfixen Kosten, die den Gewinn zusätzlich beeinträchtigen. Diesen Zusammenhang verdeutlicht das Schema auf der folgenden Seite.

Die Schaffung neuer Kapazitäten ist fast immer erforderlich, wenn es sich um die Aufnahme neuer Produkte ins Fertigungsprogramm handelt. Nur noch in seltenen Fällen kann ein moderner Industriebetrieb ohne jegliche Investitionen ein neues Erzeugnis einführen. Die Aufnahme neuer Produkte bewirkt Änderungen in den Kostenarten, die nicht von der quantitativen, sondern von der artmäßigen Zusammensetzung des Fertigungsprogrammes, also von der Anzahl der gefertigten Erzeugnistypen abhängen. Zu diesen erzeugnisspezifischen Einführungskosten gehören in erster Linie Spezialwerkzeug- und Entwicklungskosten, die einer Erzeugnisart direkt zugerechnet werden können ¹⁾.

¹⁾ Daraus folgt aber nicht eine direkte Zurechenbarkeit auf eine Einheit dieser Erzeugnisart.



Die Bedeutung dieser direkten Erzeugnis-Gemeinkosten wächst ständig. Die Anfertigung von erzeugnispezifischen Spezialwerkzeugen, z.B. Stanzschnitten, ist in vielen Fällen weit aufwendiger als die Maschine, an der sie betrieben werden. Während aber die Grundmaschine durch Austausch der Spezialwerkzeuge auch für andere Erzeugnisse genutzt werden kann, ist das Auslastungsrisiko bei erzeugnispezifischen Sonderwerkzeugen besonders groß: Die Werkzeugkosten fallen auch dann an, wenn wider Erwarten nur verschwindend geringe Mengen des Erzeugnisses abgesetzt werden können.

Sonderwerkzeugkosten, aber auch Entwicklungskosten, sind im Kern eine Stückzahlfrage. Gerade hierbei ist es besonders wichtig, die Stückzahlchancen durch Marktforschung zu erkunden, *b e v o r* die folgenschwere Entscheidung über Entwicklung und Fertigung neuer Erzeugnisse gefällt wird. Die alte Forderung nach Typenbereinigung zielt hauptsächlich auf den Abbau der erzeugnisspezifischen Kosten durch Verringerung der Programmbreite.

Die ergebnisverbessernde Wirkung der Typenbereinigung muß auch im System der betriebsökonomischen Prognose sichtbar werden. Das kann geschehen, indem man alle zweiwertigen Programmentscheidungen, d.h. die Entscheidungen über die artmäßige Zusammensetzung des Produktionsprogrammes, in einem Selektionsvektor ξ zusammenfaßt und mit dem Vektor der erzeugnisspezifischen Fixkosten f multipliziert; z.B. ergeben sich DM 100.000 typenfixe Gesamtkosten, wenn von folgenden fünf Produkten nur das zweite und das fünfte gefertigt werden:

$$K = \xi \cdot f = (0, 1, 0, 0, 1) \cdot \begin{pmatrix} 80.000 \\ 30.000 \\ 20.000 \\ 110.000 \\ 70.000 \end{pmatrix} = 100.000$$

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das in den Abschnitten 51 und 53 dargestellte, ausschließlich mit stetigen Variablen arbeitende System um unstetige Funktionen erweitert werden muß, die den sprungartigen Anfall von zusätzlichen Kosten bei programmabhängigen Kapazitätserweiterungen und bei Einführung neuer Produkte ausdrücken ¹⁾. Damit wären alle typischen Folgekosten und sonstigen Auswirkungen einer Programmentscheidung im betrieblichen Prognosemodell berücksichtigt. Unterschiede in der Bewertung von Entscheidungsalternativen resultieren - über die technologischen und Regressionsgleichungen - allein aus

¹⁾ Zur stufenweisen Deckungsbeitragsrechnung siehe unten.

A b w e i c h u n g e n der Zielfunktionswerte, die wiederum auf Ä n d e r u n g e n in den numerischen Werten der Einflußgrößen beruhen. Im Gegensatz zum System der Vollkostenrechnung werden also nur d i e Wertansätze geändert, die durch die Entscheidung beeinflußt werden und somit entscheidungsrelevant sind ¹⁾. Der "Grundsatz der relevanten Kosten" ²⁾ ist auch wesentliches Kriterium der Deckungsbeitragsrechnung. Gegenüber der Vollkostenrechnung hat die Deckungsbeitragsrechnung zudem den Vorteil, die strittige Gemeinkostenverteilung auf die Betriebsteile (Kostenstellen bzw. Kostenträgergruppen) zu vermeiden; sie wählt vielmehr den Kostenbereich so groß (und ggf. für jede Kostenart auf einer anderen Ebene der hierarchischen Betriebsgliederung), daß die betreffende Kostenart d i r e k t , d.h. ohne Schlüsselung, zugerechnet werden kann. Diese - zunächst nach reiner Bequemlichkeit aussehende - Rechnungsart wird auch der Entscheidungsabhängigkeit der Kosten erheblich besser gerecht. Die Zurechnung der allgemeinen Verwaltungskosten z.B. auf den größtmöglichen Kostenbereich "Gesamtbetrieb" mit dem Verzicht der Aufteilung auf die betrieblichen Teilbereiche bringt zugleich zum Ausdruck, daß die Kosten des Verwaltungsbereiches nicht direkt durch Entscheidung bezüglich einzelner Fabrikategruppen beeinflußt werden, da die unmittelbare Koppelung dieser allgemeinen Kosten mit der speziellen Fabrikatgruppe nicht gegeben ist. Die Zurechnung aller Kosten als "relative Einzelkosten" ³⁾ im Sinne der Deckungsbeitragsrechnung bedingt durch den Zwang zur direkten Zurechnung für alle Kosten die Kenntnis der adäquaten entscheidungsrelevanten Ebene. Entwicklungs- und Konstruktionsgemeinkosten etwa sollen soweit wie möglich direkt einzelnen Erzeugnissen, höchstens den Fabrikatgruppen, zugeordnet werden.

- 1) Mit dem dargestellten Prognosesystem werden zwar die g e s a m t e n Kosten prognostiziert, mit der Betriebsleistung variieren aber über den Regressionssatz nur die v a r i a b l e n Kosten.
- 2) Vgl. W. Kilger: "Flexible Plankostenrechnung", 3. Auflage Köln und Opladen 1967, S. 160 - 166.
- 3) P. Riebel: "Das Rechnen mit Einzelkosten und Deckungsbeiträgen", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1959, S. 213 - 238.

Die Kosten für die allgemeine technische Grundlagenforschung anteilig auf die den Nutzen daraus ziehenden Erzeugnisse zu verteilen, wäre dagegen falsch, da die Forschungskosten weder durch Aufgabe einer Produktart gesenkt werden können, noch durch Hinzukommen weiterer Erzeugnisse gleicher Art steigen.

Immer also, wenn noch andere Betriebsbereiche Nutznießer der Arbeit einer Dienststelle sind, nimmt die Deckungsbeitragsrechnung zunächst an, daß deren Kosten durch die - insgesamt relativ kleinen - Änderungen eines Teilbereiches nicht beeinflußt werden.

Diese Annahme ist sicher richtig, wenn es sich um die "einmaligen" Einrichtungen eines Industriebetriebes handelt, etwa die Pförtnerei, den Betriebsarzt, die Buchhaltung, die Leitung, den großen Brennofen, den ein Porzellanwerk eben braucht, usw. Alle diese Einrichtungen sind in ihrem Umfang weitgehend fixiert und von der Entwicklung in Teilbereichen fast unabhängig.

Andere Dienststellen verfügen über additive Kapazitäten: je nach Inanspruchnahme werden z.B. in der zentralen Vorfertigung weitere Dreh- und Fräsmaschinen aufgestellt, wodurch die Kapazität relativ gut an die Beschäftigung angepaßt werden kann. Änderungen des Bedarfs in Teilbereichen können hier durchaus zu Anpassungen führen, die als direkte Folgen einer Entscheidung in einem Teilbereich auch in der Deckungsbeitragsrechnung zu erfassen und bei der Entscheidung zu berücksichtigen sind. Obwohl man in diesen Fällen die Kapazität einer Dienststelle und die damit verbundenen (fixen) Kapazitätskosten verursachungsgerecht und zugleich unter Beachtung der Anpassung bei Beschäftigungsschwankungen auf die "Auftraggeber" dieser Stelle verteilen könnte, wird hiervon - im wesentlichen zur Vereinfachung - oft kein Gebrauch gemacht. Die Folge ist, daß die Grenzkosten der Produktionsausweitung zu niedrig angesetzt und somit ihre Ergebniswirkung zu positiv eingeschätzt wird. Dadurch werden Fehlentscheidungen bei der

Forcierung vermeintlich gewinnbringender Produkte möglich.

Additive, gleichartige Kapazitätsteile sind meist nur im Fertigungsbereich gegeben. Nötige Kapazitätserweiterungen mit ihren Folgekosten werden erst erkennbar, wenn die Fertigungsmengen aller betroffenen Produkte bekannt sind; das Gesamtprogramm bestimmt den Umfang der gemeinsam benötigten Fertigungseinrichtungen.

Eine hierarchische Ergebnisrechnung, die mit zunehmender Verdichtung aus dem jeweiligen Fertigungsprogramm den Deckungsbeitrag je Erzeugnis, Fabrikatgruppe, Sektor bis zum Gesamtergebnis auf der Grundlage des oben dargestellten, um die Kapazitätskosten und die erzeugnisspezifischen Sprungkosten erweiterten Prognosesystems ermittelt, zeigt das folgende Blatt. Es weist zwar auch alle Fixkosten aus, sondert aber den Teil als "disponible Fixkosten" ab, der infolge des zu umfangreichen Gesamtprogrammes oder bei Aufnahme neuer Produkte entscheidungsabhängig zusätzlich anfällt. Damit wird die für Planungszwecke ungenügende Spaltung in variable und fixe Kosten erweitert zu einer Prognose des Ergebnisses, die zwar die gesamten Kosten umfaßt, aber die variablen und fixen entscheidungsabhängigen Kosten gesondert ausweist ¹⁾.

Alle Kosten und Erträge haben ihre wesentliche Bestimmungsgröße in den Stückzahlen (links im Schema). Die Einzelkosten Fertigungsmaterial und -lohn sind Ausdruck technologischer Beziehungen, die in den Stücklisten und Arbeitsplänen je Erzeugnis zum Ausdruck kommen und nachfolgend mit Materialpreisen und den Löhnen je Minute bewertet werden.

Auch die ausschließlich fixen Kostenarten der Kapazitätskosten sowie der Werkzeug- und Entwicklungskosten ergeben sich aus technologischen Funktionen. Aus den

¹⁾ Zu beachten ist, daß in den Regressionsgleichungen $GK_a = a_0 + a_1 \cdot L$ der "variablen Gemeinkosten" mit dem Parameter a_0 auch Fixkostenteile enthalten sind. Die gesamte Kostenart zählt natürlich dennoch - im Gegensatz z.B. zu den Abschreibungen und Zinsen der vorhandenen Kapazität - zu den variablen Kosten.

Stufenweise Ergebnisrechnung nach Produkten und Produktgruppen auf der Grundlage der Deckungsbeitragsrechnung

			Sektor	1			2,3,....			Gesamtsumme	
			Fabrikatgruppe	11		12					
			Erzeugnis	111	112	120					
			Stückzahl			Σ11		Σ1			
Stückzahlen	→ Preis-Absatz-Funktionen →			U m s a t z							
	Bedarf des Erzeugnisses an Materialart k	Materialbedarf je Art	Bewertung mit Einstandspreisen								
	m_{ik}	M_k	MW_k								
	Zeit je Einheit des Erzeugnisses am Arbeitsplatz j	Zeitbedarf je Arbeitsplatz	Lohnbewertung								
	t_{ij}	T_j	$T_j \cdot L_j$								
	1. Fabrikatgruppenbezogen: $GK_{11} = (f_0, f_1, f_2, f_3, \dots) \cdot \begin{pmatrix} t_{11} \\ t_{12} \\ \vdots \end{pmatrix}$			1. $GK_{11} = f_0 + f_1 \cdot L_{11}$ usw. für Fabr. Grp. 12...							
	2. Sektorbezogen: $GK_1 = (S_0, S_1, \dots) \cdot \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \end{pmatrix}$			2. $GK_1 = S_0 + S_1 \cdot L_1$ usw. für Sektor 2...							
	3. Werksbezogen: $GK = (w_0, w_1) \cdot \begin{pmatrix} L \\ L \end{pmatrix}$			3. $GK = w_0 + w_1 \cdot L$							
	→ Umsatz % (Einzelkosten + proportionale Anteile der variablen GK)			Stück-Deckungsbeitrag							
	Kosten der vorhandenen Kapazität (Abschreibungen und Zinsen)			1. Erzeugnisspezifische Kosten							
			2. Fabrikatgruppenspezifische Kosten								
			3. Sektorenspezifische Kosten								
			4. Werkskosten								
			1. Erzeugnisspez. Kosten								
			2. Fabr. Grp. spez. Kosten								
			3. Sektorenspez. Kosten								
			4. Werkskosten								
			1. Erzeugnisspez. Kosten								
			2. Fabr. Grp. spez. Kosten								
			3. Sektorenspez. Kosten								
			4. Werkskosten								
Sonstige dispo. Direktkosten wie Werkzeug- und Entwicklungskosten			1. Erzeugnisspez. Kosten und Erträge								
			2. Fabr. Grp. spez. Kosten und Erträge								
			3. Sektorenspez. Kosten und Erträge								
			4. Werksresultat								
Umsatz % direkt zurechenbare Kosten (auf allen hierarchischen Ebenen)			Deckungsbeiträge								
			1. Erzeugnisspez. Kosten und Erträge								
			2. Fabr. Grp. spez. Kosten und Erträge								
			3. Sektorenspez. Kosten und Erträge								
			4. Werksresultat								

Fertigungsstückzahlen wird der Kapazitätsbedarf je Arbeitsplatz errechnet; die Kosten der gegebenen Kapazitäten (Abschreibung, Zinsen und Wagnisse) sind echte, weitgehend unvermeidbare Fixkosten, während die zusätzlichen Kapazitäten zu programmabhängigen und daher disponiblen Fixkosten führen. Ebenso verhält es sich mit den Werkzeug- und Entwicklungskosten, da sie durch die Entscheidung über die Einführung neuer Produkte bedingt sind. In allen drei Arten der Fixkosten wird versucht - im Schema ist dies durch die unterschiedlich großen Kästchen ausgedrückt -, die Kosten soweit wie möglich direkt den kleinsten Einheiten, den Erzeugnissen, zuzuordnen und erst, wenn dies ohne Kostenschlüsselung nicht mehr möglich ist, größere Bereiche zu belasten.

Der Umsatz der Erzeugnisse ist - basierend auf den Stückzahlen - das Ergebnis aller ökonometrischen Marktabhängigkeiten. Auch hier kann - bei entsprechender Originalstruktur - eine Prognose aufgrund der reduzierten Form anstelle der originären Prognose erforderlich werden.

Die Schlußleiste weist die Deckungsbeiträge in hierarchischer Verdichtung aus. Sie ergeben sich aus dem Umsatz abzüglich der gesamten direkt zu-rechenbaren Kosten der jeweiligen betrieblichen Gliederungsstufe und entsprechen damit dem echten Beitrag dieser Einheiten zur Deckung der Fixkosten in höheren Stufen und zur Gewinnerzielung.

6 Die Auswirkungen der betriebsökonomischen Prognose auf die Optimierung des Produktionsprogrammes

Die Simulation des Betriebsgewinnes verschiedener Entscheidungsalternativen auf der Grundlage des betriebsökonomischen Prognosesystems verfolgt das gleiche Ziel wie die exakten Extremierungsverfahren der Programmoptimierung. Auf die Kongruenz von Ergebnisprognose und -optimierung wurde bereits im Abschnitt 1 mit den Abbildungen 1 und 2 hingewiesen. Versieht man die an sich wertneutrale Prognose mit der Zielfunktion der Gewinn- (bzw. Nutzen-)maximierung, dann deckt sie sich von der Zielsetzung her mit der mathematischen Optimierung. Im Vorgehen ergeben sich aber infolge der entgegengesetzten Richtung beider Rechnungen - Simulation als unter verschiedenen Voraussetzungen wiederholte Prognose und Auswahl der besten Konstellation auf der einen Seite, Optimierung als direkte und exakte Ansteuerung des Optimums auf der anderen Seite - wesentliche Unterschiede.

Da das Netzwerk der betrieblichen Abhängigkeiten die gemeinsame Grundlage von Prognose und Optimierung bildet, ist das Prognosesystem eines Betriebes der Prüfstein für alle Methoden der Programmoptimierung in bezug auf Isomorphie; denn alle betrieblichen Wirkungszusammenhänge müssen auch bei der Optimierung beachtet werden.

Die exogenen Größen, soweit sie nicht Entscheidungsvariable des Betriebes sind, kennzeichnen die Entwicklung der betriebsrelevanten Umweltdaten, die mehr oder weniger unbeeinflussbar sind und daher als Nebenbedingung in das Optimierungsverfahren aufgenommen werden müssen. Innerbetriebliche Randbedingungen sind die begrenzten Fertigungskapazitäten, bei längerfristigen Modellen auch die Kapazitäten des Fertigungsmittelbaues ¹⁾ und der Entwicklungsbüros, und als letzte Restriktion die Finanzierungsmöglichkeiten.

¹⁾ der Teilbetrieb, der sich mit der Anfertigung der betriebsspezifischen und nicht handelsüblichen Sonderwerkzeuge, Spezialmaschinen und -vorrichtungen beschäftigt.

Daß alle betrieblichen Wirkungszusammenhänge auch bei der Optimierung beachtet werden müssen, heißt nicht, daß sie hier in der gleichen Form und Ausführlichkeit wie im Prognosesystem auftreten müssen. Die Optimierungsverfahren, die ohnehin wegen der Vielzahl von Randbedingungen einen - selbst für Elektronenrechner - hohen Rechenaufwand bedingen, arbeiten vielmehr mit saldierten Größen; sie stellen gegenüber der Brutto-Prognose gleichsam eine in vielerlei Beziehung abgemagerte Nettorechnung dar. Die Prognose z.B. des Materialverbrauchs und der Fertigungslöhne, meist in feiner Differenzierung mindestens nach Fabrikategruppen, ist für Optimierungsrechnungen nur insofern interessant, als sie Bestimmungsgrößen des Stück-Deckungsbeitrages sind.

Erst beim Stück-Deckungsbeitrag liegt die "Einstiegs-luke" der Programmoptimierung in das auf S.103 dargestellte Prognosetableau. Die Kosten der gegebenen Kapazitäten werden als für die Programmentscheidung irrelevante Fixkosten ignoriert, nicht aber die Kapazitäten selbst und ihre zeitliche Belegung entsprechend der aus den Arbeitsplänen gewonnenen Matrix der Einheitszeiten.

Entscheidungsabhängig und daher bei der Optimierung zu berücksichtigen sind dann wieder die für das Gesamtprogramm erforderlichen Kapazitätserweiterungen mit ihren Sprungkosten und die erzeugnispezifischen, durch die Aufnahme neuer Produkte entstehenden direkten Kosten.

Zur Lösung spezieller Einzelprobleme existiert auf dem Gebiet der mathematischen Programmierung eine Vielfalt an Optimierungsalgorithmen. Für das den ganzen Betrieb durchdringende, ständig wiederkehrende Problem der optimalen Programmplanung, das auch ein darauf zugeschnittenes "operationales" Rechnungswesen erfordert, existiert z.Z. kein alle dargestellten - stetigen und stufenförmigen - Ergebniswirkungen berücksichtigendes formales Lösungssystem.

Ausgehend vom Standardmodell der linearen Programmplanung sollen nun schrittweise die sich aus dem oben konzipierten Prognosesystem ergebenden Anforderungen an eine integrierte Programmoptimierung dargestellt werden.

61 Kurzfristige lineare Programoptimierung im
Rahmen begrenzter Fertigungskapazitäten

Im Standardfall der linearen Programmplanung sind die Stückdeckungsbeiträge und damit je Erzeugnis der Preis und die Einzelkosten das einzige ergebnisbildende Element aus dem gesamten Prognosesystem.

Die optimalen Fertigungsmengen werden so ermittelt, daß die Summe der stückzahlmultiplizierten Deckungsbeiträge ein Maximum ergibt.

Da die Optimierungsrechnung im Gegensatz zur Prognose, die die zur Fertigung des Gesamtprogrammes erforderlichen Kapazitäten errechnet, das ergebnisoptimale Programm in die gegebenen Kapazitäten "einschmiegt", müssen im Algorithmus Prioritätsregeln für die Vergabe der knappen Kapazitäten beachtet werden.

Nach dem Grundsatz der Deckungsbeitragsrechnung verbessert sich zwar das Gesamtergebnis bei zusätzlicher Produktion einer Erzeugniseinheit um den Stück-Deckungsbeitrag dieses Erzeugnisses, infolge der voll ausgeschöpften Kapazität der Engpaßeinrichtungen würden durch diese Entscheidung aber andere Produktionen zurückgedrängt werden. In einer "Verdrängungsrechnung" müssen also dem Deckungsbeitrag eines Erzeugnisses die durch seine Produktion verdrängten Deckungsbeiträge anderer Erzeugnisse, die sogenannten "Kosten der entgangenen Gelegenheit" (Opportunitätskosten), gegenübergestellt werden.

Um die knappen Kapazitäten setzt also ein Wettbewerb der Erzeugnisse ein. Das Wesen des Optimierungsverfahren kann daher auch so beschrieben werden: Es sind Lenkpreise für die knappen Kapazitäten so festzulegen, daß nur die ertragreichsten Erzeugnisse diese "Kosten" aus ihrem Deckungsbeitrag "bezahlen" können. Diese Knappheitspreise sind zugleich "Schat-tenpreise", da sie sich aus den Deckungsbeiträgen

der Produkte, jeweils projiziert auf eine benötigte Kapazitätseinheit, ableiten.

Würde man den Stundenpreis der knappen Kapazitäten niedriger ansetzen, dann erschienen auch "schlechtere" Erzeugnisse als förderungswürdig, obwohl für sie keine Kapazitäten mehr frei sind. Die Filterwirkung der Preise ist nur dann voll gewährleistet, wenn die aus den Verrechnungspreisen aufgrund der Beanspruchung der Engpässe kalkulierten "Kosten" der Erzeugnisse (Opportunitätskosten)

- ▷ höher sind als die Deckungsbeiträge der Erzeugnisse (für alle nicht im Optimalprogramm enthaltenen Produkte)

oder

- ▷ gleich sind den Erzeugnis-Deckungsbeiträgen (für alle Erzeugnisse des Optimalprogrammes).

Die Aufnahmebedingung für das optimale Produktionsprogramm lautet also für jedes Produkt:

$$\text{Opportunitätskosten} = \text{Stück-Deckungsbeitrag}$$

Dieser Gedankengang, formalisiert in einem Algorithmus, führt zur Ermittlung eines exakten Optimums, des gewinnmaximalen Produktionsprogrammes - wenn die sachlichen Prämissen der linearen Optimierung im realen Fall erfüllt sind. Diese Prämissen sind:

- ▷ der Stück-Deckungsbeitrag ist die einzige, den Gewinn beeinflussende Größe der Programmplanung
- ▷ der Stück-Deckungsbeitrag eines Erzeugnisses bleibt über den gesamten Mengenbereich dieses Produktes gleich groß. Insbesondere muß damit auch der Preis des Erzeugnisses bei jeder Absatzmenge konstant sein.
- ▷ das Fabrikatespektrum ist geschlossen; neue Geräte werden nicht eingeführt
- ▷ die Fertigungskapazitäten sind konstant.

Gemessen am Prognosesystem, das ja den gleichen Anforderungen in bezug auf Realitätsnähe gegenübersteht wie das Optimierungssystem, zeigt sich, daß die vier genannten Prämissen wohl selten in einem konkreten Industriebetrieb erfüllt sein werden.

So

- ▷ ist es gerade die Programmentscheidung, die in nahezu alle betrieblichen Bereiche ergebniswirksam ausstrahlt, so daß nicht nur die Bestandteile des Erzeugnis-Deckungsbeitrages - Materialverbrauch, Fertigungslöhne und der Umsatz - durch sie beeinflußt werden.¹⁾
- ▷ ist der Preis in vielen Betrieben nach wie vor das wesentlichste absatzpolitische Instrumentarium. Erhöhungen der Absatzmenge und des Marktanteils sind oft nur über Preiszugeständnisse erreichbar.
- ▷ bedingt die immer schnellere Entwicklung der Märkte und die Zunahme der technischen und konstruktiven Möglichkeiten ein offenes, sich stets erneuerndes Fabrikatespektrum. Die rechtzeitige, auf Marktforschung gegründete und am voraussichtlichen - wenn auch riskanten - Ergebnis orientierte Einführung neuer Produkte ist für die langfristige Betriebsentwicklung wichtiger als das "Abgrasen" des Marktes mit altbewährten Typen.
- ▷ sind die Fertigungskapazitäten - natürlich in Abhängigkeit von der jeweiligen Fertigungstechnik - vielfach selbst auf relativ kurze Frist recht flexibel. Sind auch die Lieferzeiten für Maschinen und Anlagen zum Teil sehr

¹⁾ Die Einflußgrößenrechnung überwindet die bisherige künstliche Polarisierung z.B. in völlig fixe und rein variable (proportionale) Kosten und erschließt das gesamte Zwischenfeld der mehr oder weniger stark ausgeprägten stochastischen Abhängigkeiten (siehe unten):

lang, so kann zwischenzeitlich der Bedarf meist auch auf anderem Wege, z.B. durch Überstunden, Schichtbetrieb, Fremdbezug o.ä., gedeckt werden. Die Kosten dieser Überbrückungsmaßnahmen und auch die investitionsbedingten zusätzlichen Kapitalkosten müssen - neben dem Stückdeckungsbeitrag - bei der Programmplanung berücksichtigt werden.

Die nur selten erfüllten Prämissen zeigen, daß die Grundform der linearen Programmplanung von der betrieblichen Realität oft zu stark abstrahiert, um praktische Entscheidungshilfe sein zu können. Dieselben Gründe, die schon zur Erweiterung des Prognosesystems führten, bedingen auch einen Ausbau der Optimierungsverfahren.

62 Die Einbeziehung der variablen Kosten in den Deckungsbeitrag

Verkaufspreis und Einzelkosten sind nicht die einzigen Ergebniskomponenten, die sich bei einer Produktionsausweitung ändern. Ein in der Praxis häufig auftretender Einwand gegen die Deckungsbeitragsrechnung richtet sich dagegen, daß mit dem Fertigungsmaterial und den -löhnen lediglich die offensichtlichen Mehrkosten einer zusätzlichen Produktion erfaßt würden, nicht aber die weniger "stramm" mit der Fertigung verbundenen mittelbaren Folgekosten. Erfahrungsgemäß würden mit einer kurzen zeitlichen Verzögerung und nach einer "Sammlung" einiger kleinerer Fertigungssteigerungen doch betriebliche Anpassungen vorgenommen: eine zusätzliche Meisterei muß eingerichtet werden, hierfür ist wiederum eine Werkstattschreiberin mit Schreibmaschine und sonstiger Ausrüstung erforderlich, das Personalbüro hat zusätzlichen Aufwand mit der Betreuung der Werkstattschreiberin, die Arbeitgeberanteile zur Sozialversicherung und sonstige soziale Aufwendungen fallen an usw. Diese "semivariablen" Kosten sind zwar

nicht direkt einzelnen und kleinen Mehrproduktionen zuzurechnen; da aber sowohl die Prognose als auch die Optimierung nicht von kleinen Änderungen des Produktionsprogrammes ausgehen, sondern das gesamte Programm mit seinen wirtschaftlichen Auswirkungen planen, müssen auch die indirekten Folgen der Programmentscheidung beachtet werden. Meist wird sich eine Abhängigkeit von der Leistung des Gesamtbetriebes und kleinerer Teilbereiche ergeben.

Die mit der Betriebsleistung mehr oder weniger eng verbundenen Kosten haben im Bereich des Operations Research bislang kaum Beachtung gefunden. Das liegt einerseits daran, daß dieser Zusammenhang eine stochastische Beziehung ist, deren numerische Bestimmung folglich relativ unsicher ist. Andererseits - und das ist der Hauptgrund - ist es schwer, hierbei zwischen funktionaler Verbundenheit und echter Kausalität zu unterscheiden. Es ist klar: Werden die "stochastischen Gemeinkosten" durch die Leistung und ihre Veränderungen **v e r u r s a c h t**, dann müssen sie bei der Entscheidung über das Leistungsprogramm, also auch im OR-Ansatz, in jedem Fall berücksichtigt werden. Denn dann bewirkt eine Leistungsänderung eine Gemeinkostenanpassung.

Sind die Gemeinkosten aber lediglich funktional, eventuell nur mittelbar über andere Größen, mit der Leistung verbunden, so verursacht die Programmentscheidung keine Gemeinkostenänderungen, solange die "Mittler-Variablen" unverändert bleiben.

An dieser Stelle zeigt sich erneut die enge Berührung von Prognose und Optimierung auf der gemeinsamen Grundlage der ökonometrischen Messung von Entscheidungsfolgen und Auswirkungen sonstiger Einflußgrößen. Die Ökonometrie hat hierbei die Aufgabe, echte Kausalitätsbeziehungen von Nonsens-Korrelationen zu trennen, damit dem OR-Ansatz nur die Kosten und Erträge zugrunde gelegt werden, die auch wirklich von der Programmentscheidung abhängen. Dieser Aufgabe ist eine

einfache Regressionsrechnung, wie sie vielfach zur Aufteilung der gesamten Gemeinkosten in einen fixen und einen proportionalen Teil verwandt wird ¹⁾, nicht gewachsen, und zwar aus folgenden Gründen:

Jede Einflußgrößenrechnung suggeriert mehr oder weniger falsche Kausalitätsbeziehungen, wenn sie nicht alle kausalen Einflußgrößen in die Rechnung einbezieht. Die im Modell enthaltenen Variablen ziehen über ihre Korrelation mit den ignorierten Größen deren Einfluß auf die abhängige Variable an sich. Dieser "Einfluß-Diebstahl" kann nur durch einen alle wesentlichen Einflußgrößen umfassenden ökonometrischen Modellansatz völlig vermieden werden. Erst recht sind alle Kausalitätsschlüsse fragwürdig, die auf einer Regressionsrechnung mit nur einer Einflußgröße basieren.

Betrachtet man also die Gemeinkosten als nur von der Leistung abhängig, so wird sich in der Regel ein guter Gleichlauf zwischen beiden Größen ermitteln lassen. Das kann aber auch daran liegen, daß sich Gemeinkosten und Leistung unabhängig voneinander im Zeitablauf gleichsinnig - in unserer expansiven Zeit meist nach oben - entwickelt haben. Gleichlaufender Trend ist die Hauptquelle ökonomischer Fehlinterpretationen im Sinne von Nonsens-Korrelationen. Um diese auszuschalten, ist zumindest eine Einflußgrößenrechnung mit trendbereinigten Werten oder - was zu gleichen Ergebnissen führt - die Einbeziehung der Zeit als weitere Einflußgröße erforderlich ²⁾.

Der Einfluß der Leistung ist somit geringer als aufgrund einer einfachen Regressionsgleichung

$GK = f(L) = a_0 + a_1 \cdot L$ angenommen werden kann. Das ist auch sachlich durchaus plausibel:

1) Vgl. C. Nebelung: "Statistische Ermittlung der fixen und variablen Kosten in Betrieben der Großserienfertigung", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1950, S. 416 - 421.

2) Siehe auch Hinweis zu Gleichung 8 des Prognosemodells in Abschnitt 5. Zu beachten ist jedoch, daß die Fehler bezüglich der Optimierung, die daraufhin auf die Optimalleistung schließt, gravierender sind als bei der reinen Prognose, die - gleichgültig aufgrund welcher Einflußgröße - lediglich die möglichst genaue Vorhersage der Kosten zum Ziele hat.

Wenn z.B. aus den Werten der vergangenen Jahre ein Anstieg sowohl der Gemeinkosten als auch der Leistung ersichtlich ist und sich somit eine gute Korrelation zwischen beiden Größen ergibt, dann kann daraus nicht gefolgert werden, daß in dem e i n e n Jahr, über dessen Fertigungsprogramm entschieden werden soll, die Gemeinkosten von der Höhe der Leistung abhängen. Denn Leistung und Gemeinkosten eines Jahres - in bezug auf den Zeitraum, aus dem die Beobachtungswerte geschöpft wurden, eine sehr kurze Zeitspanne - sind praktisch Zeit p u n k t -Größen, auf die die Zeit als eigentliche Quelle der guten Korrelation nicht wirken kann.

Eine gewisse, vielfach unzulässige Nivellierung liegt in der globalen Schätzung der variablen Gemeinkosten aufgrund der Leistung des Gesamtbetriebes, wenn diese Schätzung dann auf betriebliche Teilbereiche angewandt wird. Besser ist es, wie auch beim Schema der stufenweisen Ergebnisprognose auf S.103 dargestellt, relativ homogene Fabrikationsgebiete zu bilden und für diese die Reagibilität der Kosten individuell zu ermitteln. Es werden dennoch "allgemeine Kosten" übrigbleiben, die nur von der Gesamtleistung des Betriebes abhängen, so daß sich eine hierarchische Schätzung der variablen Kosten ergibt.

Für die Optimierung muß der partielle Regressionskoeffizient der Leistung (bzw. muß die Summe der partiellen Regressionskoeffizienten über die Hierarchie) von der Leistungseinheit auf die Erzeugniseinheit im Simplextableau umgerechnet werden. Die so erhaltenen stochastischen Kosten je Stück werden wie die proportionalen Kosten behandelt und mindern daher zusätzlich den Deckungsbeitrag der Erzeugnisse. Die geänderte Zielfunktion bewirkt, daß Erzeugnisse, die hohe variable Kosten bedingen, im Optimalprogramm zugunsten anderer Produkte zurückgedrängt werden.

63 Die Berücksichtigung der Marktabhängigkeiten
in der nichtlinearen Programmplanung

Die Koeffizienten der Zielfunktion, die Stück-Deckungsbeiträge, sind in der linearen Programmierung konstant über den gesamten Mengenbereich eines Erzeugnisses. Hat sich statistisch dagegen beim Aufbau des Prognosesystems eine signifikante Abhängigkeit der Absatzmengen von den Verkaufspreisen und damit von den Deckungsbeiträgen ergeben, so sinken - bei normalem Nachfrageverhalten - die Stück-Deckungsbeiträge mit steigender Menge des Erzeugnisses. Damit wird die ursprünglich lineare Zielfunktion - im üblichen Falle einer linearen Preis-Absatz-Funktion - quadratisch. Einige Methoden der quadratischen Programmierung umgehen diese Schwierigkeit, indem sie das primale Problem - Maximierung des Gesamt-Deckungsbeitrages - umformen zum entsprechenden Dualproblem, das die Kapazitätskosten, bewertet zu Schattenpreisen, minimiert.

Bei der linearen Programmierung sind die Deckungsbeiträge und die daraus abgeleiteten Schattenpreise ("projizierte Deckungsbeiträge") nur von der qualitativen Zusammensetzung des Programmes, nicht von den Erzeugnismengen abhängig. Deckungsbeiträge und ihre Projektionen gelten also auch in anderen Mengenbereichen und dürfen daher der Stückzahlentscheidung zugrunde gelegt werden; denn ist die Aufnahmebedingung: Opportunitätskosten = Stück-Deckungsbeitrag einmal erfüllt, so gilt das wegen der linearen Verläufe für alle denkbaren Erzeugnismengen.

Da die Prämisse einer linearen Zielfunktion in der Praxis nur selten erfüllt sein dürfte, muß in der nichtlinearen Programmplanung die "Aufnahmebedingung" erweitert werden. An die Stelle des Stück-Deckungsbeitrages tritt der Grenz-Deckungsbeitrag, der der Ergebnisänderung bei zusätzlicher Produktion einer Erzeugniseinheit entspricht und - bei normalem Marktverhalten - niedriger als der Stück-Deckungs-

beitrag sein wird. Mit dieser Änderung wird erreicht, daß die Erzeugnismengen nicht - mit vermeintlich gleichbleibenden Stückgewinnen - ins Unendliche, sondern maximal bis zum Cournot'schen Punkt gesteigert werden, von dem ab der Preisverfall den Gewinn stärker vermindert als er durch die steigenden Absatzmengen gefördert wird.

Mit den sich mengenabhängig ändernden Deckungsbeiträgen variieren aber auch ihre Projektionen, die Schattenpreise, und entsprechend die Opportunitätskosten der Erzeugnisse. Nach dem 2. Gossen'schen Gesetz ist die Verwendung knapper Mittel optimal, wenn die Grenznutzen ihrer Verwendungsarten gleich sind. Für die industrielle Programmplanung lautet es speziell: Die knappe Fertigungskapazität ist so auf die Produkte zu verteilen, daß deren Grenzdeckungsbeiträge, bezogen auf die Engpaßeinheit, gleich groß sind. Solange die Grenzdeckungsbeiträge je Engpaßeinheit nicht gleich sind, würde eine Ersetzung des Produktes mit dem niedrigeren Grenzdeckungsbeitrag je Engpaßeinheit durch das mit dem größeren Gewinnzuwachs insgesamt zu einer Ergebnisverbesserung führen.

Die NLP-Bedingung: Opportunitätskosten = Grenzdeckungsbeitrag ist - nicht in dieser Form, aber in bezug auf den ökonomischen Gehalt - das Kernstück des Kuhn-Tucker-Theorems. Im Falle einer quadratischen Deckungsbeitrags-Funktion wird diese Bedingung als erste Ableitung linear. Somit kann die üblicherweise in der linearen Optimierung angewandte Simplex-methode vorteilhafterweise auch für die quadratische Programmierung beibehalten werden ¹⁾.

Die Beschränkung auf quadratische Zielfunktionen bedeutet eine Festlegung auf **l i n e a r e** Preis-Absatz-Funktionen. Da man die Preis-Absatz-

¹⁾ Vgl. Ph. Wolfe: "The simplex method for quadratic programming", in: *Econometrica* 27 (1959), S. 382 - 398. Ein ähnliches Verfahren beschreibt G. B. Dantzig: "Lineare Programmierung und Erweiterungen", Springer Berlin, Heidelberg, New York 1966, S. 555 - 565.

Funktion als stochastische Funktion auf statistischem Wege ermitteln muß und man sich bei ökonomischen Beziehungen ohnehin meist auf Funktionen ersten Grades beschränkt, ist diese Festlegung nicht sehr einschneidend. Ähnlich wie bei statistischen Kostenanalysen dürfte auch hier die Geradlinigkeit, wenn auch nicht in den extremen Bereichen, so doch wenigstens im "entscheidbaren Bereich", dem üblicherweise auch die Stichprobe entstammt, hinreichend exakt gewährleistet sein.

Die Möglichkeit, in der linearen Programmplanung bei Geschäftsausweitungen mit den Deckungsbeiträgen auch die sich in den Schattenpreisen ausdrückende Ergiebigkeit der Engpaßarbeitsplätze zu hoch zu bewerten, kann zu schwerwiegenden Fehlleitungen des Betriebes führen, insbesondere in ihrer Auswirkung auf andere Teile des integrierten Entscheidungssystems. Investitionsentscheidungen etwa, die auf aus konstanten Stück-Deckungsbeiträgen abgeleiteten Knappheitspreisen basierten, würden in der Regel Fehlentscheidungen sein. Denn den Kosten der Kapazitätserweiterung dürfen nicht die aus den bisherigen Schattenpreisen errechneten Mehrerlöse gegenübergestellt werden, sondern die Deckungsbeiträge der Erzeugnismengen, die den Kapazitätswachstum füllen. Das sind mit den Grenzdeckungsbeiträgen aber niedrigere Beträge, als sie sich aus linearen Ansätzen ergeben. Der Ausbau zur nicht-linearen Programmplanung verhindert also auch hinsichtlich der Investitionsplanung eine zu optimistische Extrapolation der Gewinnsituation.

64 Die Entscheidung über die Einführung neuer Produkte
als wesentlicher Teil der Programmoptimierung

Das wirtschaftliche Hindernis, das vor der Aufnahme neuer Produkte in Form der erzeugnisspezifischen Kosten steht, wird immer größer, wobei man nicht erst an die riesigen Anlaufkosten der deutschen Elektronik-Industrie denken muß. Ein Anteil allein der Entwicklungs- und Konstruktionskosten von 20 % an den Gesamtkosten eines Betriebes ist keine Seltenheit. Die erzeugnisindividuellen Fertigungskosten in Form von Spezialwerkzeugen und Sondervorrichtungen liegen in dem Betrieb, aus dem sich als typischem Betrieb der Serien- und Massenfertigung in erster Linie die hier dargelegten Anforderungen an ein integriertes Planungssystem ableiten, um etwa 50 % und einige Millionen Mark je Jahr höher als die Kosten des handelsüblichen Maschinenparks.

Der Zug zur Konzentration von Entwicklung und Fertigung und zur damit verbundenen Typenbereinigung ist nur auf dem ökonomischen Hintergrund zu verstehen, die teure Mehrfachentwicklung von Erzeugnissen und von Fertigungsmitteln zu ihrer Produktion zu vermeiden. Die kosten- und preisgünstigere Lösung kann man sich leicht vorstellen, wenn man gedanklich die Kostensituation prognostiziert, bei der

- a) zwei Hersteller das gleiche Programm von etwa tausend Erzeugnissen entwickeln, fertigen und vertreiben und auf der anderen Seite
- b) beide Hersteller sich in bezug auf Konstruktion, Fertigung und Vertrieb in dieses Gesamtprogramm teilen und sich auf ihren Teil spezialisieren.

Die aus der betriebsindividuellen Typenvielfalt resultierende Kostensituation muß, wie erwähnt, im Prognosesystem und bei Programmentscheidungen beachtet werden.

Somit ginge auch jede Programmoptimierung, die die erzeugnisspezifischen Kosten nicht berücksichtigt, an der betrieblichen Realität vorbei, weil sie Entscheidungen vorschlägt, ohne deren weitreichende wirtschaftliche Folgen zu erfassen.

Die Erfahrung zeigt, daß der Programmoptimierung bei alteingeführten Erzeugnissen relativ enge Grenzen gesetzt sind. Die optimalen Preis-Mengen-Kombinationen etwa, wie sie mit Hilfe der nichtlinearen Programmierung ermittelt werden können, werden aufgrund der sich ständig ändernden Markt- und Betriebsdaten erheblichen zeitlichen Schwankungen unterliegen. Die doch im allgemeinen recht kontinuierliche Marktentwicklung läßt die Realisierung solcher "flatterhaften" Preis- und Mengenpolitik jedoch meist nicht zu. Wesentliche Markteinbrüche mit relativ freier Preispolitik sind dagegen mit neuen Produkten zu erzielen, die im allgemeinen auch zu einer sicheren Ausgangsstellung auf dem neuen Markt führen.

Grundsätzlich lohnt es sich also schon, die hohen "Schwellenkosten" bei Einführung neuer Produkte auf sich zu nehmen; ob es im Einzelfall rentabel ist, muß die simultane Programmoptimierung zeigen.

Hierbei sollten die neuen Erzeugnisse bezüglich ihrer Kosten und der Belegung der Fertigungseinrichtungen nicht gleich an den konstruktiv abgeschlossenen und fertigungstechnisch hoch rationalisierten Alterzeugnissen gemessen werden, sondern die erfahrungsgemäß möglichen Rationalisierungen als "Lernkurve" eingerechnet werden. Wenn man die Anlaufschwierigkeiten nicht ausschließt, würden wohl selten neue Erzeugnisse auf den Markt kommen.

Die Einführung neuer Produkte hat in den Entwicklungsarbeiten und im Aufwand für die Konstruktion und den Bau der Fertigungsmittel nicht nur einen Kosten-, sondern auch einen Kapazitätseffekt. Die Spezial-

werkzeuge anzufertigen ist in vielen Industriebetrieben die langwierigste und zugleich qualitativ anspruchsvollste Arbeit. Oft ist daher der Werkzeugbau der wesentliche Kapazitätsengpaß. Programmplanung ohne die Vorstufe "Fertigungsplanung Werkzeugbau" ist somit unrealistisch. Aber auch der Werkzeugbau kann nicht unabhängig von der übrigen Produktion planen; denn für welche Produkte oder Teile Werkzeuge zu bauen sind, ist wiederum abhängig von der Förderungswürdigkeit dieser Produkte, ihrem Deckungsbeitrag, ihrer Engpaßbeanspruchung, kurz: von der Planung des Erzeugnisprogrammes. Erzeugnis- und Werkzeugprogramm können also nur simultan in einer zweistufigen Produktionsplanung optimiert werden.

Für die Optimierung werden folgende Daten der neuen Erzeugnisse benötigt:

- ▷ Kosten je Stück bei einer am Markt voraussichtlich absetzbaren Stückzahl, realisierbarer Marktpreis mit der zugehörigen Preis-Absatz-Funktion und der daraus abzuleitenden Deckungsbeitrag-Absatz-Funktion.
- ▷ die Belegungszeiten der Arbeitsplätze sowohl für eine Erzeugniseinheit als auch für die benötigten Produktionsmittel
- ▷ die erzeugnisspezifischen Kosten, hauptsächlich Entwicklungs- und Werkzeugkosten.

Alle drei Datenblöcke werden sich nur näherungsweise angeben lassen, eben weil die Erzeugnisse neu sind und nur relativ unbestimmte Vorstellungen über ihr konstruktives Aussehen, ihre Fertigungstechnologie und ihre Markteffizienz bestehen. Praktisch behilft man sich meist mit "Anhängertypen", vergleichbaren Erzeugnissen, deren Daten mit pauschalen Korrekturen übernommen werden. Im Gegensatz zu volkswirtschaftlichen, stark aggregierten Modellen werden in

einem betriebsökonomischen Prognosesystem immer einige Elemente auftreten, die mangels empirischer Basis statistisch nicht bestimmt werden können und daher an andere empirische Sachverhalte angelehnt oder sogar hypothetisch angenommen werden müssen.

Im Simplextableau der Programmoptimierung ist den Erzeugnisspalten für jedes neue Erzeugnis eine Werkzeugaktivität mit der Belegung der Werkzeugbaukapazitäten hinzuzufügen. Die Zahl der Nebenbedingungen (Zeilen) erhöht sich damit um die - möglichst homogen gruppierten - engpaßverdächtigen Arbeitsplatzgruppen im Fertigungsmittelbau.

Die Werkzeug-Variable, die in der Zielfunktion die erzeugnispezifischen Kosten (mit gegenüber den Erzeugnis-Deckungsbeiträgen entgegengesetztem Vorzeichen) ausweist, kann nur die Werte 0 und 1 annehmen ¹⁾. Damit wird berücksichtigt, daß die erzeugnispezifischen Sprungkosten entweder gar nicht anfallen oder in voller Höhe, auch wenn nur ein Stück gefertigt wird.

Wichtig ist, daß ein neues Erzeugnis nur gleichzeitig mit seiner Werkzeug-Variablen in der Basis auftreten darf. Beide Variable müssen also in einer weiteren Nebenbedingung miteinander gekoppelt werden ²⁾.

Bei der Programmplanung unter Einschluß neuer Produkte handelt es sich um einen Fall der zweiwertigen Programmierung ³⁾, die leider - im Gegensatz zu ihrer großen praktischen Bedeutung - für große

¹⁾ Von Mehrfachwerkzeugen zum parallelen Betrieb mehrerer Fertigungslinien wird hier abgesehen.

²⁾ Zum Ansatz dieser Koppelungsbedingung vgl. W. Dinkelbach/H. Hax: "Die Anwendung der gemischt ganzzahligen linearen Programmierung auf betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme", in ZfhF 1962, S. 179 - 196, insbes. S. 182 und Dinkelbach/Steffens: "Gemischt ganzzahlige lineare Programme zur Lösung gewisser Entscheidungsprobleme", in: Unternehmensforschung 1961, S. 3 - 14.

³⁾ Vgl. G.-B. Ihde: "Zur Behandlung zweiwertiger Entscheidungen", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1968, S. 93 - 104.

Modelle und für den gemischt-zweiwertigen Hauptfall der industriellen Praxis noch keinen praktikablen Algorithmus entwickelt hat ¹⁾. Da auch der Gomory-Algorithmus zur Lösung allgemeiner gemischt-ganzzahliger Probleme nur bei sehr kleinen Modellen anwendbar ist, sind große Systeme wohl erst mit speziellen Branch-and-Bound-Verfahren ²⁾ zu lösen.

65 Simultane Programm- und Investitionsplanung

Aufgabe der kurzfristigen Programmplanung ist es, die optimale Programmfüllung für die gegenwärtige Kapazität zu finden. Auf längere Sicht, die oft schon infolge der bereits getätigten Geschäftsabschlüsse erforderlich wird, ist nicht nur das Programm, sondern auch die Kapazität Entscheidungsvariable.

Im dargestellten Prognosesystem werden aufgrund des Fertigungsprogrammes über die Arbeitsplatzbeanspruchung der Erzeugnisse die zu ihrer Fertigung erforderlichen Kapazitäten mit den programm- und kapazitätsabhängigen Ergebniswirkungen errechnet. Diesem Vorgehen bei der Prognose entspricht eine simultane Programm- und Investitionsoptimierung.

"Da die Investitionsobjekte nicht bewertet werden können, bevor nicht das günstigste Produktionsprogramm feststeht, andererseits aber das Fertigungsprogramm erst nach Erstellung des Investitionsprogrammes geplant werden kann, ist eine möglichst simultane Planung des Produktions- und Investitions-

1) Zum durchgehend zweiwertigen Fall vgl. E. Balas: "An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables", in: Operations Research 1965, S. 517 - 546.

2) Lawler/Wood: "Branch-and-bound methods: a survey", in: Operations Research 1966, S. 699 - 719.

programmes erforderlich" ¹⁾.

Zusammengefaßt entspricht also dem dargestellten Prognosesystem ein Optimierungsmodell, das - wegen der Interdependenzen zwischen den Bausteinen - simultan die betrieblichen und marktbedingten Ergebniswirkungen von Programmentscheidungen in ihren nichtlinearen Verläufen berücksichtigt und sowohl die besondere Problematik der Aufnahme neuer Produkte als auch die ganzheitliche und programmabhängige Investitionsplanung in das System einbezieht.

Leider ist es nicht so, daß ein solches System stufenweise eingeführt werden kann. Fehlt ein Baustein des Paketes, so sind die restlichen für die Entscheidungsfindung wertlos, es sei denn, man beschränkt sich auf so enge Optimierungsbereiche für die Erzeugnisse, daß die Annahme konstanter Deckungsbeiträge aufrechterhalten werden kann, ferner auf das momentan gegebene Fabrikatespektrum und auf die vorhandenen Fertigungskapazitäten. Eine so kurzfristige Programmoptimierung ist praktisch aber meist unbrauchbar, da allein der Auftragsbestand das Programm oft schon mehr als ein Jahr im voraus bestimmt. Die Zeit der Entscheidungsfreiheit bei der Programmbildung beginnt also ohnehin erst ein Jahr nach dem Planungszeitpunkt, so daß schon aus diesem Grunde die Annahme eines geschlossenen Fabrikatespektrums und gegebener Kapazitäten fallengelassen werden muß.

¹⁾ P. Swoboda: "Die simultane Planung von Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1965, S. 151.

Vgl. ferner H. Albach: "Lineare Programmierung als Hilfsmittel betrieblicher Investitionsplanung", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1960, S. 526 - 549.

H. Jacobs: "Investitionsplanung auf der Grundlage linearer Optimierung", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1962, S. 651 - 655.

Förster/Henn: "Dynamische Produktionstheorie und Lineare Programmierung", Meisenheim am Glan 1957, insbesondere S. 119 - 122.

Eine weitere Erschwerung liegt darin, daß die skizzierten Optimierungsbausteine nicht einfach additiv zusammengefügt werden können. Die Verbindungen zwischen den Bausteinen und das Zusammenfügen zu einem mit Hilfe von Elektronenrechnern wirtschaftlich zu betreibenden Algorithmus sind so kompliziert, daß sich das Erstellen eines eigenen "Makros" empfiehlt.

Erst durch den Aufbau eines Standardsystems der Deckungsbeitragsrechnung, das sich verbundartig aller nötigen OR-Methoden bedient, kann der Entscheidungsprozeß von der für diesen Zweck nicht geeigneten Vollkostenrechnung losgelöst werden.

Zur Zeit ist ein integriertes Planungssystem der beschriebenen Art, das auf den Einsatz in industriellen Großbetrieben zugeschnitten ist, nicht verfügbar. Schier unüberwindliche Schwierigkeiten aber ergeben sich, wenn nicht nur die Erwartungswerte der Deckungsbeiträge insgesamt maximiert werden sollen, sondern - wie in Abschnitt 3 beschrieben und in Abschnitt 5 praktisch durchgeführt - mit den Streuungen dieser Erwartungswerte auch das Risiko der Gewinnerzielung in die Zielfunktion eingehen soll. Die Problematik steigt bei der stochastischen Programmierung noch um eine Ebene; z.B.: "Aus der linearen, aber stochastischen Zielfunktion ... (wird) eine nichtstochastische, aber quadratische Zielfunktion" ¹⁾.

Die erhöhten Schwierigkeiten verhindern z.Z. die exakte Maximierung einer Nutzenfunktion, die im Rahmen einer umfassenden Programmoptimierung die Sicherheit der Gewinnerzielung einschließt. "Zusammenfassend kann man sagen, daß die stochastische Programmierung noch nicht wesentlich über das Grundlagenstudium in einigen verschiedenen Richtungen hinausgekommen ist. Insbesondere wird noch viel Arbeit zu leisten sein, bis man die verschiedenen Probleme der stochastischen Programmierung mit vernünftigem Aufwand auf dem Computer lösen kann" ²⁾.

¹⁾ H. Schneeweiß: "Entscheidungskriterien bei Risiko", Berlin 1967, S. 195.

²⁾ P. Kall: "Produktionsoptimierung mit Hilfe der stochastischen Programmierung", in: Industrielle Organisation 1967, S. 427 - 432, hier S. 432.

Behelfsweise kann mit einem betriebsökonomischen System - neben seinem ursprünglichen Prognosezweck - über die Simulation der a priori günstigsten Alternativen die Programmentscheidung gefunden werden, die unter Einrechnung der individuellen Risikoaversion die Gewinnerwartung maximiert. Die Eignung des Prognose-systems für die Entscheidungsfindung wird noch dadurch gefördert, daß der Unternehmer im Regelfall bei der Programmfestlegung nicht einen unüberschaubaren Optimierungsspielraum mit einer Fülle von Alternativen vor sich hat. Vielmehr ist die Anzahl der Entscheidungsmöglichkeiten mit der stetigen Entwicklung des Betriebes und seiner Kundenbeziehungen weitgehend eingeengt. Hierbei ist es sehr wertvoll, die Grundalternativen, die Hauptverzweigungen des Entscheidungsbaumes, in ihrer Auswirkung auf den Betriebsgewinn simulieren zu können.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S
=====

- Adam, A.: "Probleme und Methoden einer Betriebsökonomie", in: Statistische Vierteljahresschrift 1956, S. 101 ff.
- Adam, A.: "Die Statistik in der wissenschaftlichen Betriebsführung", in: Allgemeines Statistisches Archiv 1956, S. 201 - 209.
- Adam, A.: "Der kybernetische Aspekt in der Wirtschaft", in: Industrielle Organisation 1966, S. 561 - 568.
- Albach, H.: "Lineare Programmierung als Hilfsmittel betrieblicher Investitionsplanung", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1960, S. 526 - 549.
- Albach, H.: "Das optimale Investitionsbudget bei Unsicherheit", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 37/1967, S. 503 - 518.
- Albach, H.: "Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen", Köln und Opladen 1959.
- Angermann, A.: "Kybernetik und betriebliche Führungslehre", in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis 1959, S. 257 - 267.
- Angermann, A.: "Entscheidungsmodelle", Frankfurt/Main 1963.
- Balas, E.: "An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables", in: Operations Research 1965, S. 517 - 546.
- Balas, E.: "Discrete Programming by the Filter Method", in: Operations Research 1967, S. 915 - 957.
- Baumol, W.J./Fabian, T.: "Decomposition, pricing for decentralization and external economies", in: Management science 1964, S. 1 - 32.
- Bea, F. X.: "Kritische Untersuchungen über den Geltungsbereich des Prinzips der Gewinnmaximierung", Berlin 1968.
- Beckmann, M.J.: "Lineare Planungsrechnung", Ludwigs-hafen 1959.
- Behrens, K.C.: "Marktforschung", Wiesbaden 1959.
- Bidlingmaier, J.: "Zielkonflikte und Zielkompromisse im unternehmerischen Entscheidungsprozeß", Wiesbaden 1968.

- Blondé, D.: "Über die Brauchbarkeit des Begriffs 'Rentabilität eines Produktes'", in: Zeitschrift für das gesamte Rechnungswesen 1966, S. 36 - 38.
- Böhm, H.-H.: "Nichtlineare Programmplanung", Wiesbaden 1959.
- Böhm, H.-H.: "Operationenforschung. Moderne Vorbereitung unternehmerischer Entscheidungen", Berlin/Baden-Baden 1961.
- Buhr, W.: "Dualvariable, Opportunitätskosten und optimale Geltungszahl", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1967, S. 687 - 708.
- Cramér, H.: "Mathematical Methods of Statistics", Princeton 1954, 11. Druck 1966.
- Dantzig, G.B.: "Lineare Programmierung und Erweiterungen", Berlin, Heidelberg, New York 1966.
- Dean, J.: "Statistical Cost Functions of a Hosiery Mill", University of Chicago Press 1941, S. 37 ff.
- Dinkelbach W./Steffens, F.: "Gemischt ganzzahlige lineare Programme zur Lösung gewisser Entscheidungsprobleme", in: Unternehmensforschung 1961, S. 3 - 14.
- Dinkelbach W./Hax, H.: "Die Anwendung der gemischt ganzzahligen linearen Programmierung auf betriebswirtschaftliche Probleme", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1962, S. 179 - 196.
- Dorn, W.S.: "Non-linear programming - a survey", in: Management science 1963, S. 171 - 207.
- Ezekiel/Wylie: "The Cost Curve for Steel Production", in: Journal of Political Economy 1940, S. 777 ff.
- Faber, M.M.: "Stochastisches Programmieren", Würzburg 1970.
- Ferner, W.: "Modelle zur Programmplanung im Absatzbereich industrieller Betriebe", Köln, Berlin, Bonn, München 1966.
- Fisz, M.: "Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik", Berlin 1966.
- Fletcher, A./Clarke, G.: "Mathematische Hilfsmittel der Unternehmensführung", München 1966.

- Förstner, K./Henn, R.: "Dynamische Produktionstheorie und Lineare Programmierung", Meisenheim am Glan 1957.
- Förstner, K.: "Über die Bestimmbarkeit wirtschaftlicher Kenngrößen", Meisenheim am Glan 1960.
- Frank, M./Wolfe, Ph.: "An algorithm for quadratic programming", in: Naval Research Logistics Quarterly 1956, S. 95 - 110.
- Freund, R.: "The introduction of risk into a programming model", in: Econometrica 24, 1956, S. 253 - 263.
- Grayson jr., C.J.: "Decisions Under Uncertainty. Drilling Decisions by Oil and Gas Operators", Boston 1960.
- Grenzdörffler, K.: "Vergleich einiger in der Ökonometrie verwendeter Schätzverfahren mittels Simulation von Drei-Gleichungssystemen", Würzburg 1969.
- Gülicher, H.: "Ein einfaches ökonometrisches Entscheidungsmodell zur Beurteilung der quantitativen Auswirkungen einiger wirtschaftspolitischer Maßnahmen für die Bundesrepublik Deutschland", Köln und Opladen 1961.
- Gutenberg, E.: "Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre", Band 1: "Die Produktion", 15. Auflage Berlin/Heidelberg/New York 1969.
- Hax, H.: "Die Koordination von Entscheidungen", Köln/Berlin/Bonn/München 1965.
- Hax, H.: "Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle", in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 19/1967, S. 749 - 761.
- Henn, R.: "Möglichkeiten, Ziele und Grenzen der Anwendung formaler Methoden in den Wirtschaftswissenschaften", in: Die Unternehmung 1964, S. 76 - 81.
- Hohmann, E.: "Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei Investitionen", in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 1967, S. 283 - 285.
- Inde, G.B.: "Zur Behandlung zweiwertiger Entscheidungen", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1968, S. 93 - 104.
- Jacob, H.: "Investitionsplanung auf der Grundlage linearer Optimierung", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1962, S. 651 - 655.

- Jaeschke, G.: "Branching and Bounding. Eine allgemeine Methode zur Lösung kombinatorischer Probleme", in: Ablaufs- und Planungsforschung 1964, S. 133 - 155.
- Johnston, J.: "Statistical Cost Analysis", New York 1960.
- Johnston, J.: "Econometric Methods", New York 1963.
- Kall, P.: "Produktionsoptimierung mit Hilfe der stochastischen Programmierung", in: Industrielle Organisation 1967, S. 427 - 432.
- Kilger, W.: "Flexible Plankostenrechnung", 3. Auflage Köln und Opladen 1967.
- Kloek, T./Mennes, L.B.: "Simultaneous equations estimation based on principal components of predetermined Variables", in: Econometrica 1960, S. 45 - 61.
- Koller, H.: "Simulation als Methode in der Betriebswirtschaft", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1966, S. 95 - 110.
- Kosiol, E.: "Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1961, S. 318 - 334.
- Kosiol, E.: "Zur Problematik der Planung in der Unternehmung", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1967, S. 77 - 96.
- Krelle, W./Künzi, H.P.: "Lineare Programmierung", Zürich 1958.
- Krelle, W.: "Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung", in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft 1957, S. 632 - 677.
- Krelle, W.: "Möglichkeiten und Grenzen der Ökonometrie", in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft 1957, S. 415 - 426.
- Krelle, W.: "Präferenz- und Entscheidungstheorie", Tübingen 1968.
- Krelle, W.: "Preistheorie", Tübingen 1961, und 2. Auflage 1969, Teil 1: "Produktionstheorie".
- Künzi, H.P./Krelle, W.: "Nichtlineare Programmierung", Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.
- Künzi/Tan: "Lineare Optimierung großer Systeme", Berlin/Heidelberg/New York 1966.

- Künzi/Tzschach/Zehnder: "Numerische Methoden der mathematischen Optimierung mit Algol- und FORTRAN-Programmen", Stuttgart 1967.
- Künzi, H.P.: "Zum heutigen Stand der nichtlinearen Optimierungstheorie", in: Unternehmensforschung 1968, S. 1 - 22.
- Land, A.H./Doig, A.G.: "An automatic method of solving discrete programming problems", in: Econometrica 1960, S. 497 - 520.
- Lawler, E.L./Wood, D.E.: "Branch-and-bound methods: a survey", in: Operations Research 1966, S. 699 - 719.
- Lemke, C.E./Spielberg, K.: "Direct Search Algorithms for Zero-One and mixed-integer Programming", in: Operations Research 1967, S. 892 - 914.
- Lesourne, J.: "Unternehmensführung und Unternehmensforschung", Oldenbourg, München, Wien 1964.
- Lipka, W.: "Verbesserung des Betriebsergebnisses durch vergleichende analytische Kostenuntersuchungen", in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 1967, S. 279 - 280.
- Lüdeke, D.: "Schätzprobleme in der Ökonometrie. Identifikation und punktuelle Parameter- und Prognoseschätzung bei interdependenten Systemen", Würzburg 1964.
- Malinvaud, E.: "Méthodes statistiques de l'économétrie", 2. Auflage Paris 1969.
- Menges, G.: "Ökonometrie", Wiesbaden 1961.
- Menges, G.: "Elemente einer Betriebsökonometrie", in: R. Henn (Hrsgb.): "Operations-Research-Verfahren", Band V, S. 248 - 261, Meisenheim am Glan 1968.
- Mood, A.M./Graybill, F.A.: "Introduction to the Theory of Statistics", New York 1963.
- Moxter, A./Schneider, D./Wittmann, W. (Hrsgb.): "Produktionstheorie und Produktionsplanung", Köln und Opladen 1966.
- Müller-Merbach, H.: "Das Verfahren der direkten Dekomposition in der linearen Planungsrechnung", in: Ablaufs- und Planungsforschung 1965, S. 306 - 322.

- Münstermann, H.: "Bedeutung der Opportunitätskosten für unternehmerische Entscheidungen", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft-Ergänzungsheft April 1966, S. 18 - 36.
- Nebelung, C.: "Statistische Ermittlung der fixen und variablen Kosten in Betrieben der Großserienfertigung", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1950, S. 416 - 421.
- Niehans, J.: "Zur Preisbildung bei ungewissen Erwartungen", in: Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 1948, S. 433 - 456.
- Riebel, P.: "Das Rechnen mit Einzelkosten und Deckungsbeiträgen", in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1959, S. 213 - 238.
- Ritter, K.: "Ein Verfahren zur Lösung parameterabhängiger, nichtlinearer Maximum-Probleme", in: Unternehmensforschung 1962, S. 149 - 166.
- Schmalenbach, E.: "Pretiale Wirtschaftslenkung", Band 1: "Die optimale Geltungszahl", Band 2: "Pretiale Lenkung des Betriebes", Bremen 1948.
- Schmidt-Sudhoff: "Unternehmerziele und unternehmerisches Zielsystem", Wiesbaden 1967.
- Schneeweiß, H.: "Konsequenzen des Bernoulli-Prinzips für die Präferenzstruktur von Normalverteilungen", in: Unternehmensforschung 1965, S. 238 - 249.
- Schneeweiß, H.: "Entscheidungskriterien bei Risiko", Berlin 1967.
- Seibt, H.: "Schätzung und Prognose bei simultanen Gleichungsmodellen. Eine Monte Carlo-Untersuchung", Göttingen 1968.
- Stahlknecht, P.: "Quo vadis, Operations Research?", in: elektronische datenverarbeitung 1967, S. 1 - 4.
- Swoboda, P.: "Die simultane Planung von Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen", in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1965, S. 148 - 163.
- Theil, H.: "Ökonometrie und Unternehmensforschung - ihre Überschneidungen und Wechselwirkungen", in: R. Henn (Hrsgb.): "Operations Research Verfahren", Band II, S. 7 - 23, Meisenheim am Glan 1965.

- Theil, H.: "Economic forecasts and policy", 2. Auflage
Amsterdam 1965.
- Wald, A.: "The fitting of straight lines if both variables
are subject to error", in: The Annals of Mathe-
matical Statistics 1940, S. 284 - 300.
- Weber, . : "Grundriß der biologischen Statistik",
5. Auflage Jena 1964.
- Wedekind, H.: "Über einige praktische Anwendungen des
optimalen adaptiven Vorhersagens", in:
Ablaufs- und Planungsforschung 1966,
S. 175 - 186.
- Wittmann, W.: "Unternehmung und unvollkommene Infor-
mation", Köln und Opladen 1959.
- Woitschach, M.: "Möglichkeiten und Grenzen der Deckungs-
beitragsrechnung", in: Der Betrieb
16/1963, S. 1 - 4.
- Wolfe, Ph.: "The simplex method for quadratic program-
ming", in: Econometrica 1959, S. 382 - 398.
- Zeuthen, F.: "Das Prinzip der Knappheit, technische
Kombination und ökonomische Qualität", in:
Zeitschrift für Nationalökonomie 1933,
S. 1 - 24.

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 20. April 1939 in Berlin geboren.

Von 1945 bis 1953 besuchte ich die 19. Grundschule Prenzlauer Berg.

Nach vierjährigem Besuch der Ostberliner Schinkel-Oberschule erwarb ich dort im Juni 1957 das Reifezeugnis.

Bald darauf übersiedelten wir nach Westberlin, wo ich am 1. April 1958 eine kaufmännische Lehre bei der Siemens-Schuckertwerke AG als Stammhauslehrling antrat.

Während der Lehre - im März 1959 - bestand ich die Anerkennungsprüfung für Ostabiturienten an der Johannes-Kepler-Schule in Berlin-Neukölln.

Die Lehre schloß ich im Frühjahr 1961 mit der Kaufmanns-gehilfenprüfung in Erlangen ab.

Anschließend, im Sommersemester 1961, begann ich das Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Freien Universität Berlin.

Dort legte ich im Sommersemester 1966 das Examen für Betriebswirte ab und erwarb damit den Grad eines Diplom-Kaufmannes.

Seit 1966 bin ich in der Siemens AG tätig.

Druck:

Der Präsident der Freien Universität Berlin
- Universitätsdruckerei -

1 Berlin 41, Kelchstraße 31

